



Thèse présentée par M. Jean Morschel

Pour l'obtention du titre de Docteur en Géographie

***L'EAU ET LES PAYSAGES DANS LA
DORSALE TUNISIENNE :
Expliquer le cheminement des flux
hydriques en fonction des organisations
présentes dans le milieu naturel***

Soutenue à Nice le 12 décembre 2006 devant les membres du jury :

M. Jean-Paul BRAVARD (Professeur)
M. Jean-Charles FILLERON (Professeur)
M. Dennis FOX (Maître de Conférences HDR)
M. Jean-François RICHARD (Directeur de Recherches)
M. Jean-Pierre LABORDE (Professeur)
M. Yadh ZAHAR (Professeur)

Président du Jury
Rapporteur
Encadrement
Encadrement
Directeur de recherches
Rapporteur

REMERCIEMENTS

Il m'est agréable, à l'occasion de ce travail, de présenter mes plus vifs et mes plus sincères remerciements à messieurs Dennis Fox, Jean-Pierre Laborde et Jean-François Richard qui ont accepté de m'encadrer durant ces quatre années de labeur et qui m'ont permis de bénéficier de leur expérience au cours des différentes étapes qui ont conduit à la réalisation de cette thèse,

Je tiens également à remercier messieurs Jacques Claude et Antoine Cornet, représentants de l'IRD en Tunisie, ainsi qu'à monsieur Pierre Carrega, responsable de l'équipe GVE de l'UMR ESPACE, qui ont accepté de m'accueillir dans leur institution et m'ont permis de bénéficier de tout les avantages de leurs structures respectives,

Sincères remerciements à monsieur Jean-Marie Lamachère pour les discussions que nous avons eu sur le terrain et le temps qu'il a passé à mettre en forme des données utiles au bon déroulement de cette thèse,

Merci à messieurs Marc Voltz et Jean Albergel, directeurs de l'UMR LISAH pour le soutien logistique et financier que leur institution a permis,

Merci également à toutes mes collègues et amies de l'équipe Eau et Paysages, Meriem Labiadh, Faïza Allouch-Khébour, Elise Temple-Boyer et Olfa Riahi, pour toutes les discussions et pour tout ce que nous avons partagés ensemble,

Merci à Nicolas Martin pour ses conseils précieux en matières de traitement et d'analyse statistique,

Merci aux familles de Jema et de Labidi qui m'ont accueilli et logé chez eux pendant mes campagnes de terrain à Kamech et Abdeladim,

A mes parents Patrick et Michèle, à ma sœur Hélène, ainsi qu'à tous les autres membres de ma famille. Merci pour votre soutien et vos encouragements au cours de ces quatre longues années de thèse : sans vous rien n'aurait été possible. Merci également à mes amis Jean-Pierre, Philippe, Jérôme et Paul pour les moments de détente passés ensemble qui me permettaient pour quelques heures d'oublier cette thèse,

Un grand merci à Henriette, ma grand-mère, qui a corrigé une grande partie du manuscrit,

Un remerciement spécial pour monsieur Jean-Paul Bravard, car c'est par lui que toute cette aventure a commencé...

Enfin, à tous ceux que j'ai oublié et qui ont participé de près ou de loin à ce travail, qu'ils m'excusent de ne pas avoir cité leurs noms.

Sommaire

Introduction générale	7
Première partie : Le cadre de l'étude	11
Chapitre I : Cadres administratifs et choix des paysages	13
I.1 De Ambre à Lisah : naissance d'une équipe pluridisciplinaire	13
I.2 Les paysages de la dorsale tunisienne : une étude préliminaire	15
I.3 Présentation succincte des paysages retenus	18
Chapitre II : Les origines du langage et sa justification	24
II.1 Nomenclature des termes employés	24
II.2 La diagnose du milieu naturel	34
II.3 Un exemple concret de diagnostic	39
Chapitre III : Les axes de la géosphère	42
III.1 La notion « d'hoplexol »	42
III.2 Développement et complexité de la géosphère	45
III.3 Les extensions latérales des profils de la géosphère	48
Deuxième partie : Données et traitements, du terrain vers un modèle d'organisation du milieu	59
Chapitre IV : La typologie des facettes topographiques	62
IV.1 Données de terrain, présentation et critiques	63
IV.2 La typologie des facettes topographiques : théories et traitement	74
IV.3 la typologie des facettes topographiques : résultats et analyses	81
Chapitre V : La typologie des enveloppes de la géosphère	112
V.1 Méthode d'investigation et données recueillies	112
V.2 la définition des types d'hoplexols (les enveloppes de la géosphère)	133
Chapitre VI : La typologie des états de la géosphère	247
VI.1 méthode suivie pour l'élaboration des types de géons	247
VI.2 les traitements réalisés et les résultats qu'ils proposent	251
VI.3 la typologie des géons proposée (dernière étape de la classification)	274
Troisième partie : Les organisations spatiales mises en évidence et les éléments d'explication auxquelles elles renvoient	281
Chapitre VII : Géons, géotopes et états du milieu	283
VII.1 Les notions élémentaires pour comprendre les résultats proposés	283
VII.2 Orthotypes, variantes et intergrades dans les milieux régoliques	285
VII.3 Orthotypes, variantes et intergrades dans les milieux kéritiques	292
VII.4 Orthotypes, variantes et intergrades dans les milieux tanoliques	302
Chapitre VIII : Segments de paysages et interprétation hydrodynamiques	324
VIII.1 Démarche et principes généraux	325
VIII.2 Toposéquences, géons et segments de paysages à Kamech	331
VIII.3 La cartographie des segments de paysages	354
Conclusion générale	362

À mes chers parents

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La majorité des études concernant le ruissellement et l'érosion, quel que soit l'espace sur lequel elles s'appliquent, reposent sur l'utilisation de *modèles* dont le but est de quantifier le phénomène qui fait l'objet de leur analyse. Qu'ils soient simples à appliquer ou au contraire complexes à mettre en œuvre, tous ces modèles visent un seul objectif : *prévoir* un événement et estimer son ampleur. Il résulte souvent de ces simulations des scénarios cherchant à reproduire le plus fidèlement possible un flux afin de l'anticiper et ainsi de définir, dans le cadre général de l'aide à la décision, diverses stratégies de prévention et de lutte contre le problème en question. Qu'il s'agisse de la prévention des risques liés au ruissellement ou de la lutte contre l'érosion hydrique des sols, la question de la prévision est récurrente depuis maintenant plus d'une quarantaine d'années comme en témoignent les nombreuses publications internationales portant sur ce sujet.

Or, si ces modèles ont un pouvoir opérationnel évident, qui n'est absolument pas remis en question ici, force est de constater qu'aucun d'eux ne permet d'*expliquer* le milieu naturel sur lequel ils sont appliqués. Pourtant, comprendre le milieu naturel est d'une très grande importance puisque son organisation latérale, verticale et temporelle impose les mécanismes qui génèrent et dirigent ses flux, hydriques notamment. Ne pas en tenir compte dans une étude permet d'obtenir des conclusions qui présentent un intérêt certain en matière de prospective mais qui limitent l'apport de connaissance nécessaire à toute science de la vie et de la nature. Il semble donc important de faire *évoluer* ces études, ou tout au moins l'approche qu'on en a, en leur offrant des moyens d'intégrer effectivement le milieu naturel et de tenir compte des organisations spatiales sous-jacentes.

Tout semble résider sur la distinction qui existe entre trois mots : modèle, explication et prévision. Il est par conséquent capital de les définir convenablement et de les analyser sur un plan épistémologique afin de ne pas faire de contresens lors de leur utilisation. Cette étape est en outre utile pour comprendre la « philosophie » dans laquelle s'inscrit cette thèse.

Dans sa définition la plus simple, *prévoir* est l'action d'imaginer un événement, de considérer comme probable quelque chose qui n'a pas encore eu lieu. Ce terme fait référence à la notion de prospective, c'est-à-dire un ensemble de recherches concernant l'évolution (...) et permettant de dégager des éléments de prévision (Rey-Debove & *al.*, 1993). Brunet, Ferras et Théry (1993) précisent qu'une *prévision* est « vision d'avenir qui s'obtient par extrapolation à partir de l'analyse d'événements plus ou moins récents et de la situation présente... ». Autrement dit, la prévision implique une connaissance des mécanismes internes du phénomène et se base sur la connaissance préalable... et qui peut-être synthétisée dans un *modèle*.

Cette connaissance des caractéristiques intrinsèques du phénomène ne fait pas forcément référence à l'analyse propre des objets sur lesquels on veut appliquer le modèle en question. Ainsi, prévoir un événement en un lieu donné n'implique pas obligatoirement l'établissement d'un modèle propre à ce lieu, tout au plus une adaptation d'un modèle existant peut s'avérer nécessaire. Tant que les paramètres utiles à son fonctionnement sont correctement renseignés, celui-ci prédira des résultats tout à fait satisfaisants. Ces paramètres proviennent d'ailleurs

souvent de bases de données numériques limitant ainsi au strict minimum, en supprimant même complètement les campagnes de collectes d'informations sur le terrain. Il est alors aisé de comprendre que les résultats fournis, si précis soient-ils, ne permettent pas de comprendre l'organisation spatiale de l'espace qui fait l'objet de l'étude, et encore moins de l'expliquer. Ils servent « simplement » à définir des stratégies pour l'avenir. Ainsi, il est tout à fait possible d'établir des simulations de ruissellement sur un bassin versant ou d'estimer précisément les quantités de sol pouvant être détachées sur un secteur uniquement à partir de la comparaison entre des données collectées par un capteur et des données numérisées de type images satellitales ou Modèles Numériques de Terrain (MNT) sans jamais mettre un pied sur le terrain ni chercher à l'analyser en tant qu'objet d'étude.

A l'inverse, *expliquer* a pour but de comprendre nettement quelque chose, de faire connaître un fait, de le décortiquer dans le but d'analyser ses mécanismes. L'*explication* est un raisonnement qui permet de comprendre et de faire comprendre la nature d'un espace ou d'un objet, l'origine et la cause d'un phénomène. Elle diffère de la simple description ou même de l'interprétation car elle implique des hypothèses et des vérifications (Brunet, Ferras et Théry, 1993). Contrairement à la prévision qui est une « analyse » du futur, l'explication dénote l'idée d'analyse de ce qui est, de ce qui perdure depuis le passé et se voit au présent. En cela, expliquer un phénomène ou un espace passe nécessairement par son étude exhaustive ou quasi-exhaustive pour en tirer une synthèse permettant de le comprendre... en d'autres termes, en réaliser un *modèle*.

De ce fait, expliquer un paysage (puisque c'est bien de cela qu'il s'agit ici) revient à identifier les matériaux qui le composent ainsi que leurs arrangements verticaux d'abord, latéraux ensuite et temporels enfin, dans le but de caractériser son organisation spatiale et ses changements saisonniers. Le modèle d'organisation qui en découle n'a donc pas la vocation de prédire un événement mais de faire comprendre une structure, une organisation spatiale. Il permet de préciser les continuités et les ruptures de l'espace, de délimiter des « blocs » aux caractéristiques identiques et de les relier entre eux ou du moins, d'appréhender précisément la manière dont ils se succèdent.

Comprendre les organisations naturelles paraît désormais capital. Chaque milieu présente des agencements particuliers, voire uniques, entraînant par là même des comportements différents vis-à-vis des flux qui le traversent. La connaissance des organisations spatiales est donc nécessaire à l'interprétation (et à la simulation) des flux qui circulent dans cet espace. Ceci est d'autant plus vrai que les modèles de simulation actuels tendent de plus en plus à intégrer un découpage de l'espace dans leurs paramètres.

Ces quelques lignes de réflexion mènent à s'interroger sur le sens du troisième terme : *modèle*. Ce mot, souvent employé en géographie, présente plusieurs définitions qu'il est utile de préciser pour lever toute ambiguïté dans la suite du développement. Dans son sens commun, un modèle est un objet (ou une personne) qui est jugé représentatif d'objets (ou de personnes) de même nature. Rey-Debove & al. (1993) ajoutent qu'il s'agit d'un objet qui sert ou doit servir d'imitation pour faire ou reproduire quelque chose. Sa définition ne se limite pas à cette simple idée d'imitation et de reproduction, même si celle-ci est sous-jacente lorsqu'un *modèle* est employé dans le monde scientifique. Aussi, Brunet, Ferras & Théry (1993) précisent qu'il s'agit d'une « représentation formalisée et épurée du réel », construite par la simplification et l'abstraction et dont les buts sont l'action, la prévision ou l'explication. Dans ce sens, un modèle est un outil servant à reproduire de façon abstraite la réalité dans le but de l'expliquer d'une part ou permettant de prévoir son comportement et son évolution d'autre part. Cette définition met ainsi en avant plusieurs familles de modèles dont deux intéressent particulièrement cette étude :

- les *modèles de systèmes*, appelés aussi « schémas logiques » qui s'efforcent de représenter la structure d'un système, d'en identifier les différents éléments et les flux qui y transitent. Autrement dit, ces modèles ont pour vertu d'*expliquer* un système pour en comprendre l'organisation et le fonctionnement.
- Les *modèles prédictifs* qui sont construits comme des images des systèmes et permettent d'en *prévoir* le comportement quand on change certains paramètres, certaines valeurs des éléments ou de leurs relations. Dans leur acceptation la plus simple, ces modèles prédictifs peuvent s'apparenter à des modèles mathématiques et être transcrits sous la forme d'équations comme par exemple les modèles de régression.

La définition de *modèle* renvoie donc à celle de l'*explication* et à celle de la *prévision*. Cependant, dans la majorité des travaux concernant l'hydrologie et l'érosion des sols, la prévision est préférée à l'explication... Et cela se comprend aisément : les modèles prédictifs sont établis sur de solides connaissances des phénomènes. Ils se basent sur des équations et des lois formulées depuis près de deux siècles, telles que la *loi de Darcy* (1856), les équations de *Green & Ampt* (1911) ou encore le *modèle de Horton* (1933), destinées à calculer l'infiltrabilité d'un sol et qui représentent un élément essentiel en hydrologie. Ces modèles fonctionnent très bien à partir de ces principes, si bien qu'il semblerait qu'il n'y ait plus grand chose à découvrir dans ce domaine.

Or, si la question de la prévision peut-être appréhendée de manière relativement « simple », à partir d'éléments connus, celle de l'explication reste encore en suspens. Il paraît en effet très improbable qu'il existe un modèle explicatif des organisations paysagères capable de caractériser tous les paysages du monde. Chaque cas est unique et doit, par conséquent, faire l'objet d'une analyse propre. A la vue de ces propos, il est naturel de se demander pourquoi chercher à expliquer les organisations spatiales alors qu'il est possible d'en simuler les flux de manière indépendante et sans y faire référence. Cela n'est-il pas simple perte de temps puisqu'au final, ce sont les prévisions qui intéressent surtout les aménageurs ? Certainement pas, et ce pour plusieurs raisons. Car tout d'abord, il est préférable de bien connaître un espace avant de paramétrer un modèle de simulation afin d'éviter de faire des contresens. Ensuite parce que l'explication d'un paysage donné permet d'en faire un découpage en sous-ensembles homogènes qui lui sont propres et dont on connaît les composantes et l'agencement, ce qui paraît capital dès lors que l'on souhaite faire fonctionner un modèle prédictif spatial. Enfin car ces explications apportent des éléments de connaissance nouveaux et nécessaires à l'évolution de toute science.

Suite à ces quelques réflexions, il est possible de formuler la problématique de cette thèse. Celle-ci s'énonce au travers de trois questions relatives à l'organisation du milieu naturel et au cheminement de ses flux :

- Qu'advient-il de la goutte d'eau qui entre dans la géosphère ?
- Que va-t-elle rencontrer lors de son cheminement dans un paysage ?
- Quels sont les effets de ces *rencontres* sur elle ?

L'approche choisie pour répondre à cette problématique consiste à analyser les paysages de manière à faire ressortir les structures spatiales qui les caractérisent et de montrer comment ces structures influent sur le cheminement de l'eau dans le milieu naturel. Il s'agit donc d'identifier les différents éléments qui composent le paysage, de comprendre comment ceux-ci

s'organisent suivant l'axe vertical en un point donné du milieu, de définir comment ces agencements se succèdent latéralement dans l'espace et enfin d'appréhender les impacts des différentes structures sur les flux hydriques en transit dans le milieu. Aussi, pour répondre à ces questions relatives à l'explication du devenir de l'eau dans le milieu naturel, nous nous attacherons dans les pages qui suivent à définir des unités spatiales permettant un découpage du milieu naturel qui tienne en compte de l'ensemble de ses caractéristiques, topographiques comme organisationnelles. Ces unités intégratrices, nommées "segments de paysages", sont la base nécessaire à la formulation d'un *modèle de système* permettant, en tout point d'un espace donné, d'appréhender la structure spatiale du milieu naturel et d'en déduire l'impact sur les cheminements de l'eau.

L'approche choisie ne cherche donc pas à *prévoir* les flux, mais à *expliquer* comment ils se forment dans le milieu naturel... Il ne s'agit toutefois pas de créer un modèle révolutionnaire, mais de susciter une approche nouvelle concernant les questions d'hydrologie et d'érosion des sols, basée sur l'explication préalable de l'espace étudié. Une approche *géographique* qui considère l'espace comme l'objet même de l'étude et non pas comme son support. Une approche basée sur la connaissance et la compréhension du milieu naturel, de son organisation et de ses changements avant d'en simuler et d'en interpréter les flux. A ce titre, l'objet de cette thèse est de présenter la démarche qui est suivie pour répondre à cette problématique. Il s'articule en trois grandes parties. La première partie fixe les cadres théoriques de l'analyse du milieu naturel et précise les règles de la segmentation du paysage. La seconde s'attache à présenter l'ensemble de la démarche utile à la modélisation du paysage, depuis la collecte des données sur le terrain jusqu'aux traitements numériques que ces données permettent. Enfin, dans la troisième partie les modèles spatiaux explicatifs de l'organisation des paysages attendus et les interprétations hydrodynamiques qu'ils autorisent sont présentés.

PREMIERE PARTIE

LES CADRES DE L'ETUDE

PREMIERE PARTIE

INTRODUCTION

L'objectif de cette thèse est de mettre en place des *modèles spatiaux d'organisations du milieu naturel* capables d'expliquer à la fois l'agencement vertical et latéral des paysages concernés et les comportements hydrodynamiques de ces derniers. Elle s'appuie pour cela sur l'analyse fine, précise et exhaustive de trois petits bassins versants de la Dorsale Tunisienne. Répartis d'est en ouest au sein de cet ensemble régional, ces paysages ressortent lors d'une étude préliminaire comme étant *les plus représentatifs* des espaces au sein desquels chacun d'eux s'inscrit. Étudiés dans un cadre théorique et méthodologique assez particulier ces trois paysages vont permettre la détermination, à partir de l'observation directe de leurs composantes verticales et latérales, des modèles annoncés dans l'introduction générale... Les analyses réalisées visent ainsi à mettre en évidence des unités spatiales nommées *segments de paysages*. Alliant à la fois les *systèmes de pente* (définissant les contraintes topographiques imposées par le relief) et les organisations verticales du milieu naturel (et leurs extensions latérales) qui s'y inscrivent, ces unités apparaissent comme en effet des éléments clés pour comprendre, analyser et expliquer les paysages et leurs interactions avec les flux. Mais avant d'en arriver là, il semble important de préciser le contexte administratif, financier et surtout scientifique dans lesquels cette thèse se place et ce pour justifier à la fois les intérêts de sa réalisation et les moyens théoriques mis en œuvre pour obtenir les résultats escomptés.

La première partie de ce travail est uniquement rédigée dans ce but. Elle s'articule autour de trois chapitres. Le premier s'intitule : « Généralités, cadre administratif et choix des paysages étudiés ». D'ordre très général, il vise à présenter les institutions ayant permis sa réalisation par les apports financiers et logistiques qu'elles ont amené. Il est en outre utile pour justifier les choix opérés en matière d'espace à analyser. Le second chapitre, intitulé « les origines du langage et sa justification » présente le vocabulaire si particulier qui permet l'analyse des paysages. Il montre également les différents courants de pensée qui ont abouti à son élaboration... D'une certaine manière, ce chapitre fixe les cadres épistémologiques dans lesquels s'insère cette thèse. Enfin le troisième chapitre, titré « les axes de la géosphère » présente, sur le plan théorique la démarche suivie pour l'élaboration des modèles spatiaux d'organisation des paysages attendus.

CHAPITRE PREMIER

GENERALITES : CADRE ADMINISTRATIF ET CHOIX DES PAYSAGES ETUDIES

INTRODUCTION

Ce premier chapitre vise à présenter les cadres administratifs, financiers et scientifiques dans lesquels s'inscrit cette thèse. Celle-ci se place en effet dans un contexte assez original qui a permis de rassembler et de mettre à notre disposition un grand registre de données sur les paysages tunisiens. Chaque fois que cela sera nécessaire, les plus importantes d'entre elles seront présentées au fil de ce rapport, mais d'une manière générale elles entrent toutes dans le cheminement scientifique et dans la construction logique qui a permis à ce travail d'aboutir.

Afin de présenter les structures dans lesquelles s'inscrivent ce travail, ce chapitre s'articule autour de trois étapes. La première présente la structure administrative, financière et scientifique : les programmes de recherche « AMBRE » puis « LISAH » ont à la fois permis l'accueil, le financement et l'encadrement scientifique. Mais outre ces aspects, ce chapitre s'attache également à présenter les choix effectués concernant les paysages retenus pour l'analyse. La seconde étape présente une étude préliminaire réalisée sur la dorsale tunisienne afin d'expliquer le choix d'appuyer notre réflexion sur les bassins versants de Kamech, El Hnach et Abdeladim. Enfin la troisième étape de ce chapitre localise et décrit de manière succincte ces trois bassins versants qui se placent au cœur de notre problématique.

I.1 - DE AMBRE A LISAH : NAISSANCE D'UNE EQUIPE PLURIDISCIPLINAIRE.

C'est au sein d'un programme de recherche, dirigé par Jean Albergel, démarré dans le cadre de l'Unité de Recherche (UR) *Analyse, Modélisation dans les Bassins versants méditerranéens anthropisés du Ruissellement et de l'Erosion* (AMBRE) de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) qu'une équipe pluridisciplinaire dont la thématique commune était « l'eau et le paysage » a vu le jour. Encadrée par Jean-François Richard et regroupant plusieurs doctorants et stagiaires, cette équipe avait pour objectif d'entreprendre une réflexion sur la valorisation et la généralisation des résultats expérimentaux (données hydrologiques et météorologiques diverses, mesures d'envasement des retenues collinaires...) acquis sur de petits bassins versants méditerranéens : il existe en effet en Tunisie une masse considérable d'informations hydrologiques. Celles-ci se plaçant uniquement à une échelle locale, il semblait alors fort intéressant de chercher des moyens pour extrapoler ces données disponibles à grande échelle pour passer à un niveau plus global et obtenir par là même une connaissance régionale des phénomènes hydrologiques.

En se basant sur des questions d'organisations paysagères, et plaçant les paysages au cœur de la problématique, cette équipe se devait alors de répondre à une première question : comment choisir les paysages à étudier et quelle est la représentativité de ces paysages si l'on souhaite passer à une échelle régionale ? Le but étant de définir à partir d'espaces finis, connus et largement « mesurés », les clés de la détermination hydrodynamique à petite échelle.

Ainsi, grâce aux données collectées pendant une dizaine d'années sur une trentaine de petits bassins versants de la dorsale tunisienne, fournies par les multiples organismes en convention avec l'IRD (notamment : Institut National Agronomique Tunisien, Direction Générale de la Conservation des Eaux et des Sols, Institut National de Recherche en Génie Rural, Eaux et Forêts) une étude préliminaire visant à déterminer les paysages les plus représentatifs de la Dorsale Tunisienne a vu le jour. Celle-ci a abouti à la réalisation d'une publication intitulée « typologie sur les petits bassins versants de le Dorsale Tunisienne » (Khébour & al, 2002). L'impact de ce premier travail est important : c'est à partir des résultats qu'il propose que les paysages retenus pour les travaux de terrain de l'équipe Eau et Paysage furent choisis.

D'ailleurs dès le mois de juin 2002 une première campagne de terrain, dont l'objectif était de caractériser les unités topographiques élémentaires du bassin versant de Kamech, fut entreprise. Si dans un premier temps ce travail n'a pas abouti à une publication, il a permis de fixer les bases de la collecte de l'information concernant la topographie des paysages retenus dans le cadre de cette thèse. A ce titre, les données collectées à cette époque sont utilisées ici : elles permettent la détermination des enveloppes spatiales dans lesquelles viennent d'inscrire les segments de paysages, éléments clés pour définir une vision globale et complète du milieu naturel et de ses flux. Les données, les analyses qu'elles autorisent et les résultats obtenus sont à ce titre présentés dans la deuxième partie (chapitre IV) de cette thèse.

En 2003, la fusion de l'UR AMBRE de l'IRD avec l'équipe *Sols et Hydrologie des Agrosystèmes Méditerranéens* (SHAM) de l'Institut National de la Recherche Agronomique - Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers (INRA-ENSAM) pour former l'Unité Mixte de Recherches (UMR) *Laboratoire d'étude des Interactions Sol - Agrosystème - Hydrosystème* (LISAH), co-dirigé par Marc Voltz et Jean Albergel, a permis le maintien de l'équipe Eau et Paysage et la poursuite des travaux entrepris jusqu'à présent sur les paysages de la Dorsale Tunisienne. Au sein du LISAH, ce groupe de travail a trouvé sa place dans un axe de recherche dont la thématique est « d'appréhender l'organisation spatiale et les changements d'états des sols et des paysages cultivés ». Précisons que l'objectif de cet axe de recherche est d'analyser « la variabilité de structures anthropiques telles que les réseaux de fossés et de banquettes, et développer des méthodologies de cartographie des états de surface du sol, des motifs paysagers et des risques d'érosion et de transfert de polluants » (site Internet LISAH). Dès lors les thèmes de recherche de chacun des doctorants de l'équipe Eau et Paysages furent précisés (Richard & al., 2005) :

- *Les segments de paysages, interprétation hydrodynamique* (organisation spatiale des paysages et cheminements des flux dans le milieu naturel)... Jean Morschel,
- *Les saisons de paysage, interprétation hydrodynamique* (le suivi des changements temporels des paysages et modification des flux hydriques)... Faïza Allouch-Khébour,
- *La perception du paysage et de ses aménagements*... Elise Temple-Boyer,
- *Du paysage à la région* (détermination des règles de transfert d'échelle pour passer d'un niveau local à un niveau global)... Meriem Labiadh.

Si chacun des travaux entrepris sont clairement distincts, ils donnent d'ailleurs lieu à quatre thèses différentes, il faut néanmoins préciser que tous sont réalisés sur les mêmes bassins versants. Les données recueillies par chacun sont d'ailleurs mises à la disposition de l'ensemble des membres de l'équipe. Notons d'ailleurs qu'une seule personne n'aurait jamais pu récolter autant de données portant sur les caractères organisationnels, temporels, anthropiques et régionaux dans les trois ans impartis à une thèse de troisième cycle. Bien

entendu toutes les informations obtenues par ce biais ne sont pas nécessairement utilisées ici. Toutefois chaque fois qu'elles entrent d'une manière ou d'une autre dans la construction de cet ouvrage leurs *propriétaires* respectifs sont dûment signalés.

Aussi, il est important de préciser que c'est ce cadre administratif et scientifique unique qui a permis la réalisation de cette thèse. AMBRE puis LISAH en furent à la fois les institutions d'accueil et d'encadrement (administratif et scientifique) en Tunisie, les organismes financiers (voyages et des campagnes de terrain) et ont facilité l'accès aux paysages que nous allons *visiter* tout au long de ces pages ainsi qu'à de nombreuses *données* (station limnimétrique, mesures climatiques...) qui permettent de quantifier certains de leurs aspects.

Enfin il faut également mentionner le fait qu'une partie de l'encadrement scientifique et technique a également été apporté par l'UMR 6012 ESPACE de l'Université de Nice Sophia-Antipolis. C'est en effet au sein de l'équipe Gestion et Valorisation de l'Environnement (GVE), dirigée par Pierre Carrega, qu'une grande partie des traitements qui figurent cette thèse ainsi que l'intégralité de sa rédaction furent réalisés.

1.2 - LES PAYSAGES DE LA DORSALE TUNISIENNE : UNE ETUDE PRELIMINAIRE.

Le cadre le plus général dans lequel s'inscrivent les paysages retenus pour cette thèse correspond à une entité géographique encore relativement *mal définie* spatialement : il s'agit de la Dorsale Tunisienne. Correspondant plus à une juxtaposition de montagnes massives et de larges plaines qu'à une réelle chaîne de montagne, la dorsale tunisienne couvre un vaste secteur au centre nord de la Tunisie. Si ses extensions latérales sont relativement modestes (les limites latérales sont d'ailleurs encore mal définies à ce jour), ses extensions longitudinales font que cette "région" couvre une vaste zone climatique. Celle-ci s'étend en effet d'un climat méditerranéen subaride, relativement pluvieux mais marqué par d'importants déficits hydriques estivaux, à un climat sub-désertique globalement très déficitaire en eau tout au long de l'année. Lieu de fortes densités rurales, la Dorsale Tunisienne représente un véritable enjeu de développement pour le pays, notamment en ce qui concerne la gestion des ressources en eau.

Nous allons donc présenter l'étude préliminaire « typologie sur les petits bassins versants de la dorsale Tunisienne » (Khébour & al, 2002) et expliquer le choix des paysages retenus dans le cadre de cette thèse à partir de ce travail, puis aborder de manière succincte cette région tout en la centrant sur les enjeux liés à la gestion de l'eau

1.2.1 - La dorsale tunisienne, un enjeu en matière de gestion de l'eau.

Prolongement de l'Atlas saharien, la Dorsale Tunisienne prend en écharpe tout le centre nord du pays depuis le Jebel Chambi frontalier de l'Algérie (1544 m), jusqu'à la péninsule du Cap Bon. Cette « chaîne » de montagnes se caractérise par un alignement de jebels, massifs montagneux isolés, peu élevés en altitudes mais marquée par un encaissement important et des pentes très abruptes. Ces massifs alternent avec de grands glacis, caractérisés par de faibles pentes et parcourus par de nombreux oueds encaissés dans les sédiments qui les recouvrent. Au « contact » entre les jebels et les glacis existent des espaces dont la nature géomorphologique varie. Il s'agit parfois de plateaux aux bords abruptes, de piémonts marqués par fortes pentes, de reliefs de cuesta ou encore de reliefs faillés de type horst / graben. Tous ces types de modelés sont regroupés sous le terme générique « collines » même si celui-ci ne correspond pas toujours aux formes de relief qu'il désigne.

Au sein de ces « collines », un réseau de retenues artificielles a été mis en place depuis une quinzaine d'années (figure 1.1). Ces retenues d'eau (lacs collinaires), d'une capacité de stockage de quelques dizaines à quelques centaines de milliers de m³ sont alimentées par des bassins versants de petite taille (la superficie varie de quelques centaines d'hectares à quelques kilomètres carrés). A ce jour, un millier de ces retenues existent.

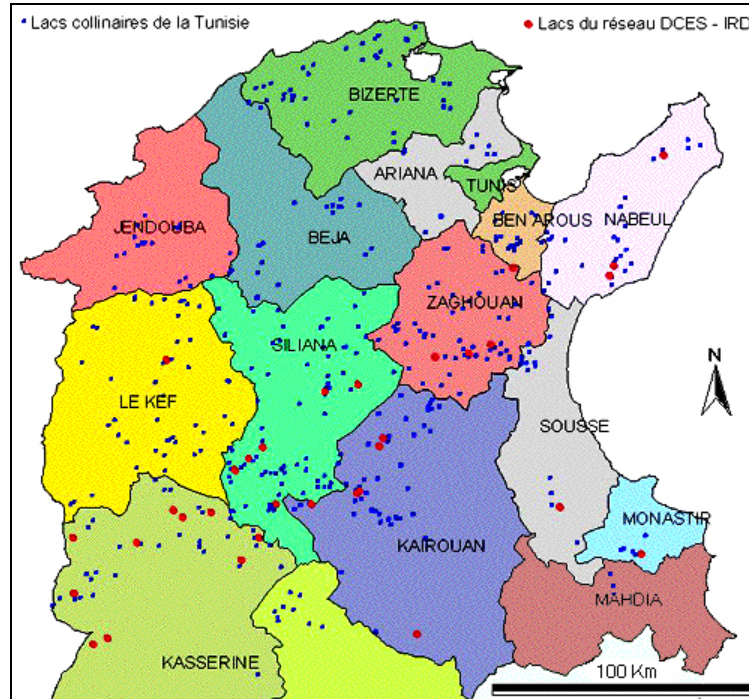


Figure 1.1 : Le réseau de retenues collinaires en Tunisie, près de 1000 barrages construits une quinzaine d'années (source : Richard & Jenhaoui, 2001).

Le but de ces ouvrages est essentiellement la protection contre les crues des infrastructures situées en aval ainsi que la rétention « sur place » des sédiments pour éviter l'envasement des grands barrages (Richard & Jenhaoui, 2001). Il s'avère cependant que ces lacs collinaires représentent aussi une importante ressource en eau dans un environnement où celle-ci fait souvent défaut, apportant ainsi des perspectives de développement pour des populations rurales pauvres. Parmi ces barrages, une trentaine (figure 1.1) sont suivis en permanence depuis 1994 par les hydrologues tunisiens de la DG-ACTA (Direction Générale des Aménagements et Conservation des Terres Agricoles, ex-DCES direction de la conservation des eaux et des sols) et français de l'IRD (Institut de Recherche pour le développement). Les données recueillies concernent essentiellement les précipitations, le ruissellement et l'envasement des lacs. Elles sont collectées soit par des capteurs automatiques doublés de mesures réalisées par un observateur, soit lors de campagnes de mesures effectuées par les hydrologues (notamment en ce qui concerne l'envasement des lacs). Ces données ont en outre servi de base à l'établissement de six annuaires hydrologiques « numériques » (dont la publication se poursuit encore actuellement). Elles sont par conséquent facilement accessibles et aisément exploitables par diverses études (dont celle-ci).

1.2.2 - Quels paysages représentatifs retenir ?

Réaliser une étude à très grande échelle nécessite d'importantes campagnes de collectes d'informations sur le terrain et ne peut pas se faire sur un nombre aussi important de bassins

versants. Aussi, Khébour & al. (2002) établissent une typologie de ces bassins versants visant à faire apparaître les plus représentatifs de la Dorsale Tunisienne et du Cap Bon. Cette classification est établie en fonction des critères physiographiques, hydrologiques et anthropiques. Elle résulte essentiellement d'une série d'Analyses Factorielle des Correspondances (AFC) réalisées sur 13 bassins versants (retenus après l'élimination d'unités aux caractéristiques douteuses ou incomplètes) et basées sur huit facteurs élémentaires :

- Le relief [1] : rapport entre la superficie et la pente des bassins versants,
- Le relief [2] : rapport entre la dissection des bassins, les dénivelés et les altitudes,
- L'hydrographie : rapport entre la superficie des bassins et la densité des cours d'eau,
- L'anthropisation : rapport entre les dénivelés des bassins et l'occupation du sol,
- Le bilan hydrique [1] : rapport entre les précipitations annuelles et les déficits hydriques,
- Le bilan hydrique [2] : rapport entre les déficits hydriques et les écoulements,
- Les crues [1] : rapport entre les débits et le nombre de crues, le nombre de jours de pluie.
- Les crues [2] : rapport entre le nombre de crues et le coefficient de ruissellement et aux intensités des pluies.

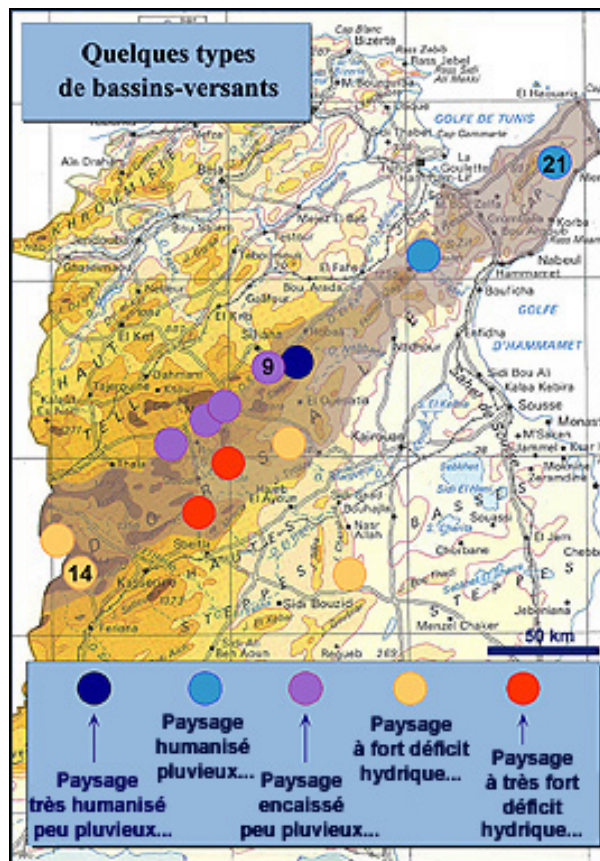


Figure 1.2 : Typologie des bassins versants (d'après Khébour & al., 2002).

Les résultats obtenus (figure 1.2) dans cette étude permettent de ne retenir que trois bassins versants pour les travaux de terrain et les analyses qui en découlent : Kamech (21), considéré comme le plus typique d'un espace fortement humanisé et d'une pluviosité élevée ; El Hnach (9), représentatif d'une maille paysagère diversifiée et enfin Abdeladim (14), bassin caractéristique d'une forte aridité et d'un fort ruissellement. C'est à partir de ces trois paysages que toutes les analyses qui prennent place dans les chapitres suivant s'appuient.

1.3 - PRESENTATION SUCCINCTE DES PAYSAGES RETENUS.

Cette troisième étape achève l'exposé du cadre général dans lequel s'inscrit cette thèse. Il vise à présenter de manière rapide les trois bassins versants retenus dans le cadre de la typologie décrite précédemment. Les descriptions réalisées ici sont bien entendues sommaires, leur but étant simplement d'aider le lecteur à situer ces espaces et de lui décrire le contexte général dans lequel ils s'inscrivent.

1.3.1 - Le bassin versant de Kamech.

Coordonnées à l'exutoire : 36°52'18"N ; 10°52'08"E

1.3.1.1 - Cadre géographique.

Le Bassin versant de Kamech (figure 1.3) se situe au pied du jebel Sidi au centre de la péninsule du Cap Bon. Il dépend administrativement du Gouvernorat (Découpage administratif correspondant à la région en France) de Nabeul et de la délégation (Découpage administratif correspondant au département en France) de Kélibia. Ce petit bassin versant de forme rectangulaire (annexe 2) occupe une superficie de 245 hectares environ qui s'inscrivent dans le cadre plus vaste du bassin versant de Lebna (210 km²). A son exutoire se trouve une retenue collinaire d'une capacité de 140000 m³ qui reste en eau la majeure partie de l'année. La digue de la retenue mesure 125 mètres de long pour 10 mètres de haut. Elle fut construite en 1991.



Figure 1.3 : Le bassin versant de Kamech, vue depuis l'aval - en arrière plan : Jebel Sidi Abd Er Rahmane (Cliché E. Temple-Boyer, Avril 2002).

Situé à la limite entre les climats sub-humide et semi-aride méditerranéen, le bassin versant de Kamech est caractérisé par une pluviométrie interannuelle moyenne comprise entre 500 et

600 mm et par une température oscillant entre 12°C en Janvier et 27°C en Août (données pour Kélibia). Malgré une altitude et une dénivellation moyenne modestes (respectivement 298 et 108 mètres), les pentes peuvent être très accentuées : elles atteignent couramment 55 % entre les plateaux amont et l'oued en aval. Le bassin versant de Kamech est un exemple typique de relief appalachien, caractérisé par une série d'épaisses couches de marnes alternant avec des affleurements de grès de moindre importance. Les sols bruns calcaires vertiques et hydromorphes qui se développent sur le substrat marneux atteignent des épaisseurs importantes. Sur et à l'aval des affleurements gréseux, notamment quand la pente est très forte, apparaissent des lithosols dont l'épaisseur dépasse rarement la vingtaine de centimètres. Du fait de la nature des sols et de la pluviosité relativement conséquente, le bassin versant de Kamech est très fortement anthropisé. Cette présence de l'homme se traduit par une mise en culture de près de 75 % de sa surface avec, par ordre d'importance décroissante : cultures céréalières, culture de légumineuses (fèves essentiellement) et, dans une moindre proportion, culture maraîchères irriguées. Les secteurs les plus pentus sont laissés en friches et sont souvent utilisés comme parcours pour le bétail (ovins essentiellement).

1.3.1.2 - Les dispositifs de collecte des données météorologiques et hydrologiques.

Enfin, du fait de sa proximité avec Tunis (moins d'une heure trente de route) et de facilité d'accès qu'offre cet espace, ce bassin versant est équipé d'un impressionnant dispositif d'appareils de mesure opérationnel depuis 1994 (ORE OMERE, 2005). Entre autres, sont installés sur ce bassin versant : une station limnimétrique automatique, un dispositif de mesure de l'envasement du barrage (relevés manuels réalisés tous les 1 à 2 ans), trois pluviogrammes, onze pluviomètres. Les données qui sont recueillies par ces appareils sont publiées sous la forme d'annuaires hydrologiques et utilisables dans le cadre de cette thèse. En outre, onze stations de bilans hydriques des sols (installées en 2000), deux stations agro-climatiques complètes pour mesurer l'évapotranspiration réelle du couvert végétal (en place depuis début 2005) ainsi qu'un dispositif de suivi de l'érosion à trois échelles différentes (en place depuis 2004) y sont aussi installés. Les données recueillies, bien qu'aussi accessibles ne seront pas utilisées du fait de la trop récente installation des capteurs.

1.3.2 - Le bassin versant d'EL Hnach.

Coordonnées à l'exutoire : 36°04'10"N ; 9°26'55"E

1.3.2.1 - Cadre géographique.

Le petit bassin versant d'El Hnach (figure 1.4 et annexe 3) se localise dans la partie centrale de la Dorsale Tunisienne, entre le jebel Bargou (1270 m), le jebel Serj (1360 m) et la plaine de Siliana (400 m). Il s'intègre dans le grand bassin versant du Siliana où il occupe une superficie de 395 hectares pour un périmètre de 9,55 km. Son point culminant affiche une altitude de 834 mètres contre 447 mètres à l'exutoire de la retenue, soit une altitude moyenne de 640 mètres pour une dénivellation de 387 mètres. Ce petit bassin versant est barré en aval par une retenue collinaire d'une capacité de 58824 m³ en 1996, contre 77400 m³ lors de sa construction en 1992 (Richard et Jenhaoui, 2001). Sur un plan administratif, cet espace s'inscrit dans le gouvernorat et la délégation de Siliana.

Le paysage d'El Hnach s'inscrit dans un relief plissé / faillé. Il se place au cœur d'un anticlinal évidé en combe et laissant paraître un relief complexe et tourmenté. En son centre, un des paysages les plus typiques du centre de la Dorsale Tunisienne et du monde méditerranéen semi-aride se développe. Ce paysage très disséqué se compose d'une série de

reliefs de commandements aux pentes abruptes. Composés d'une alternance rapide de marnes et de calcaires, ces reliefs ont une dynamique très érosive qui se traduit par la quasi-absence de sol et des formations végétales de type garrigue très clairsemée. En aval de ces reliefs se trouvent des glacis fossilisés par des croûtes calcaires datant du quaternaire (Collinet & Testouri-Jebari, 2000 ; Zante et Collinet, 2001). Très entaillées, les parties amont de ces glacis, n'existent plus que sous la forme lambeaux, témoins de leur ancienne extension et laissent apparaître les marnes sous-jacentes, elles même très érodées. Plus en aval, et à mesure que l'on s'approche du thalweg principal, ces glacis se caractérisent par une accumulation de plus en plus importante de sols de nature limoneuse ou argilo-limoneuse. Ces sections présentent aussi des encroûtements crayeux, compacts mais friables, induisant l'idée de processus et de cheminements différents de l'eau dans ces ensembles.



Figure 1.4 : Le bassin versant d'El Hnach, paysage typique du monde méditerranéen sub-aride, relief de commandement et glacis, encroûtés ou non (Cliché E. Temple-Boyer, Juillet 2002).

Le reste du bassin versant montre des sols développés sur marnes, relativement épais et plus argileux. Du fait de sa géomorphologie et de la nature de ses sols, seule 43 % de sa superficie est mise en culture. Pour la plupart il s'agit de grandes parcelles de cultures céréalières malgré quelques parcelles d'oliviers sur certains glacis et de maraîchage sur les rives du lac. Le reste de l'espace (soit environ 56 %) est composé de chemins de parcours sillonnée par des troupeaux d'ovins dont les plus importants atteignent la cinquantaine de têtes.

1.3.2.2 - Les dispositifs de collecte des données météorologiques et hydrologiques.

Ce bassin fait lui aussi l'objet d'un suivi par les hydrologues, mais dans une moindre mesure. Y sont installés, et opérationnels, depuis 1993 une station limnimétrique automatique ainsi qu'un pluviographe et un pluviomètre. Ces dispositifs sont implantés sur la digue du barrage. Ils ne permettent donc qu'un aperçu sommaire de la répartition spatiale des pluies sur l'ensemble du bassin versant. Sa topographie accidentée laisse en effet penser à des variations

importantes entre l'amont et l'aval. Par ailleurs, le lac n'a fait l'objet que d'une seule mesure d'envasement en 1996. En revanche, les toposéquences analysées et décrites pour cette thèse ont fait l'objet d'une campagne de simulation de pluie en juin 2005 ce qui facilite leurs interprétations hydrodynamiques.

1.3.3 - Le Bassin versant d'Abdeladim.

Coordonnées à l'exutoire : 35°13'01"N ; 8°33'02"E

1.3.3.1 - Cadre géographique.

Le troisième bassin versant retenu se localise à proximité de la ville frontière Boudériès, dans le gouvernorat de Kasserine, délégation de Fériana. Le Bassin versant d'Abdeladim (figure 1.5 et Annexe 4) occupe une superficie de 642 hectares pour un périmètre de 11,5 km qui s'étendent dans un ensemble régional nommé « plateau de Boudériès », entre le jebel Chambi (1455 m) et la plaine de Fériana. C'est le bassin versant qui présente l'altitude la plus élevée parmi les trois retenus. Celui-ci affiche une altitude moyenne de 1124 mètres pour une dénivellation de 194 mètres. Son point culminant avoisine les 1225 m d'altitude. La retenue située à son exutoire offrait une capacité initiale de 164080 m³ (en 1992, date de construction de la digue). La dernière mesure d'envasement, réalisée en 2000 par les hydrologues de l'IRD, montre que 96% du volume initiale est encore utilisable. L'estimation de la durée de vie de cette retenue est supérieure à un siècle (Richard et Jenhaoui, 2001).



Figure 1.5 : Le bassin versant d'Abdeladim vu depuis l'aval. Un paysage simple et organisé suivant le modèle « montagne / piémont / plaine ». (Cliché E. Temple-Boyer, Décembre 2001).

Le bassin versant d'Abdeladim présente le paysage le plus simple des trois bassins versants retenus. En effet, la succession des milieux naturels depuis le centre du bassin versant jusqu'à ses limites extérieures est parfaitement organisée suivant trois auréoles concentriques qui se

distinguent nettement tant sur le plan topographique, géomorphologique et pédologique qu'en ce qui concerne l'occupation humaine. Ainsi, depuis l'amont de la retenue (située, bien entendu, à l'aval du bassin versant), il est tout d'abord possible d'observer une plaine agricole avec des sols colluviaux profonds et partiellement encroûtés, formant un vaste glacis peu pentu et dont l'altitude décroît régulièrement. Le réseau hydrographique qui occupe cet espace est marqué par un encaissement important des oueds (Riahi, 2005). A cette plaine succède un piémont formé de roches conglomératiques très entaillées par les cours d'eau donnant au relief un aspect encaissé et dégradé. Les sols sur ce secteur sont très irréguliers, parfois très minces, ils laissent apparaître la roche mère en surface ; profonds, ils sont indurés par des croûtes calcaires compactes et visiblement anciennes. En outre, ces sols ne permettent pas la mise en culture de cet espace et seules quelques parcelles existent dans ce milieu. Le piémont est aussi le lieu de l'implantation originale des hommes sur ce bassin versant (comme en témoigne les vestiges d'une villa romaine), tradition toujours perpétuée de nos jours même si la tendance actuelle est à l'installation des habitations dans le glacis. Enfin, le troisième ensemble parfaitement distinct, et qui correspond aussi à la limite du bassin versant est une « chaîne de montagnes » dont les caractéristiques topographiques et pédologiques ne permettent pas aux hommes l'occupation de cet espace ; cette dernière auréole est marquée par la présence d'un boisement assez clairsemé de pins d'Alep qui est protégée de l'exploitation par le gouvernement tunisien.

1.3.3.2 - Les dispositifs de collecte des données météorologiques et hydrologiques.

Ce dernier bassin versant est aussi suivi quotidiennement par les hydrologues tunisiens et français depuis 1993. A ce titre, la retenue est équipée d'un pluviomètre, d'un pluviographe et d'une station limnimétrique automatique, doublé par les relevés quotidiens d'un observateur. Il a également fait l'objet de plusieurs mesures d'envasement entre 1994 et 2000 réalisées dans le cadre du programme Hydromed. Toutes ces informations sont disponibles à partir des annuaires hydrologiques publiés dans le cadre de ce programme.

En revanche, la position marginale d'Abdeladim et son éloignement de Tunis fait que ce troisième bassin est moins bien suivi que les deux précédents. Il n'a ainsi pas été couvert par la dernière campagne de simulations de pluie ce qui risque, au moins en partie, de limiter les interprétations hydrodynamiques des paysages.

CONCLUSION

Ce premier chapitre a pour principal objet de faire un tour d'horizon des cadres institutionnels dans lesquels s'inscrit ce travail de recherche. Avant de passer à l'analyse à proprement parler, il faut rappeler que cette thèse a en effet bénéficié d'un soutien financier, logistique et d'un encadrement administratif par l'UR AMBRE puis l'UMR LISAH ainsi que par l'équipe GVE de l'UMR ESPACE. Ces structures ont en outre facilité l'accès aux données hydrologiques utiles à la caractérisation hydrodynamique des paysages retenus, par le biais des partenariats et des conventions signées avec les organismes tunisiens en charge de leur gestion. Elles ont également ouvert l'accès aux bassins versants sur lesquels toutes les analyses qui suivent se basent et cherchent à caractériser... Mais cet encadrement va bien au-delà de la simple couverture administrative : il a permis de donner à ce travail son orientation scientifique. C'est en partie grâce à l'équipe *Eau et Paysages* dirigée par Jean-François Richard et grâce aux méthodes de travail permettant la collecte de l'information et les réflexions qui en découlent que cette thèse a pu voir le jour.

Passons maintenant à la présentation des méthodes suivies dans cette étude qui nous permettent d'appréhender et d'analyser le milieu naturel et commençons sans plus attendre notre voyage au sein des paysages de Kamech, d'El Hnach et d'Abdeladim.

CHAPITRE II

LES ORIGINES DU LANGAGE ET SA JUSTIFICATION

INTRODUCTION

La question du vocabulaire employé est fréquemment posée lorsqu'une analyse du paysage est menée. Une terminologie particulière est en effet employée. Développée dans le cadre de l'Analyse Transdisciplinaire du Milieu (Richard, Khan et Chatelin, 1977) et méconnue des géographes français, cette terminologie se heurte souvent à de sévères critiques, voire même à des moqueries de la part de certains scientifiques, géographes ou non. Il semble donc important de justifier son emploi et de définir précisément les termes employés afin de lever le doute sur eux et de montrer qu'il ne s'agit pas d'un langage obscur ou loufoque, mais que les termes employés sont clairement définis, cohérents, utiles et accessibles.

Trois points sont abordés dans ce paragraphe : le premier consiste à présenter les principaux termes utilisés dans cette thèse. Le seconde présente les origines et les justifications de ce langage et enfin le troisième montre un exemple détaillé pour caractériser un paysage. L'ordre qui est suivi n'est pas nécessairement le plus logique puisqu'il aurait peut-être fallu présenter les origines en premier lieu... Mais devant les problèmes rencontrés par les lecteurs non avertis, il apparaît qu'il est nécessaire d'entrer dans le vif du sujet en définissant directement les termes plutôt que l'inverse.

II.1 - NOMENCLATURE DES TERMES EMPLOYES.

Par souci de clarté et pour conserver une certaine rigueur, les différents termes définis dans ce paragraphe sont regroupés en cinq ensembles en fonction de leur positionnement sur un axe vertical qui couvre l'ensemble de la géosphère et qui s'étend des *plus hautes formations ligneuses* lorsqu'elles existent jusqu'aux *plus profondes racines* lorsqu'il est possible de les apercevoir. Les cinq ensembles cités (supraplexion, métaplexion supérieur, métaplexion strict, métaplexion inférieur, infraplexion) seront eux-mêmes définis plus précisément par la suite. Seul les termes les plus fréquents et les plus utilisés dans la thèse sont inventoriés et définis ici.

II.1.1 - Les formations végétales les plus hautes : le supraplexion.

II.1.1.1 - Les structures de maintien et de conduction.

Stylagé : Ce premier mot correspond à ce que l'on appelle communément le "tronc des arbres". Il caractérise les formations végétales ligneuses de maintien des arbres ou des arbustes et de conduction de la sève. Les stylagés se distinguent dès la surface du sol, au niveau des collets. En règle générale, les stylagés s'orientent perpendiculairement à la pente. Sont exclus de ce diagnostic les tiges monocotylédones arborescentes (bambous, palmiers...) qui ne correspondent pas à des formations ligneuses à proprement parler.

Dendrigé : Les dendrigés correspondent aux divisions des troncs principaux en grosses branches qui s'apparentent à des troncs secondaires supportant la canopée. Les dendrigés sont liés aux phases de réitération successives des arbres et sont nettement séparés des frondaisons. Dans les milieux tropicaux les dendrigés représentent un lieu d'habitat de nombreuses espèces végétales ou animales nécessitant une quantité de lumière plus importante que celle disponible à la surface du sol.

II.1.1.2 - Les structures d'expansion et d'exploitation.

Prophyse : Les prophyses sont des feuillages (et les branchages associés) des arbres en cours de croissance et à l'architecture interne encore simple. Souvent allongés en forme de fuseaux, les prophyses correspondent aux *arbres de l'avenir* en attente ou en cours de réalisation de leur modèle architectural et qui sont susceptibles d'occuper un espace aérien plus important dès lors qu'ils en auront la place (figure 2.1).



Figure 2.1 : Prophyse (Coni-prophyse) et stylagé.
(Abdeladim, Novembre 2004. Cliché : Jean Morschel)

Paliphyse : Feuillages (et branchages associés) très étalés, de formes diverses (parasol, boule, cône renversé...) mais généralement plus larges que hautes. Les paliphyses correspondent aux feuillages des arbres adultes qui ont reproduit plusieurs fois partiellement ou totalement leur modèle de croissance. Les paliphyses sont les *arbres du présent*, ils occupent tout l'espace aérien disponible et ont atteint le stade de croissance maximal (figure 2.2).



Figure 2.2 : Paliphyse (Coni-paliphyse), stylagé et dendrigé.
(Abdeladim, Novembre 2004. Cliché : Jean Morschel)

Coniphyse : Les coniphyses correspondent aux feuillages et branchages des conifères, souvent en forme de cônes allongés selon la verticale. Certains coniphyses présentent des formes prophysés ou paliphysés, comme c'est le cas notamment des pins.

II.1.2 - Les formations végétales herbacée : le métaplexion supérieur.

II.1.2.1 - Les végétaux herbacés dépourvus de tissus ligneux.

Gramen : végétation herbacée à feuilles engainantes (les tiges sont peu ou pas apparentes), plus longues que larges, redressées au cours de la phase de croissance et couvrant peu la surface du sol (si isolée). L'ensemble de la plante (tige et feuilles) assure la fonction chlorophyllienne. Les gramens peuvent avoir des hauteurs variables, allant de quelques centimètres à plusieurs mètres. Leur croissance varie de très rapide pour les espèces annuelles à très lente pour certaines espèces pérennes. Le terme gramen regroupe l'ensemble des plantes graminoides saisonnières et pérennes (Graminées, Joncacées, Cypéracées...) figure 2.3 et 2.4.

Kortode : Le terme kortode regroupe l'ensemble des végétaux herbacés non graminoides. Les feuilles souvent larges et étalées se détachent nettement des tiges même si l'ensemble de la plante assure les fonctions chlorophylliennes. Les formes sont très variées, la croissance peut-être très rapide dans le cas d'espèces annuelles. Les kortodes assurent généralement de par leur forme une bonne couverture de la surface du sol.



Figure 2.3 : Gramen anthropique à répartition isocline.
(Kamech, Printemps 2001. Cliché : Elise Temple-Boyer).



Figure 2.4 : Gramen phlogoïde et nécro-gramen unicloïde.
(El Hnach, Juillet 2002. Cliché Elise Temple-Boyer)

II.1.2.2 - Les végétaux ligneux et « sous ligneux ».

Nanophytion : Les nanophytions correspondent aux structures végétales caractérisées par un début de lignification des tiges et des formes de réitération simples. La forme la plus fréquente est celle du buisson. Elle se caractérise par une intense ramification basale qui limite la distinction des architectures internes. Dans certains cas, il est cependant possible de distinguer les cauligés (structure de maintien et de conduction) des nanophyses (structures d'expansion et d'exploitation). Le nanophytion, marqué par une ramification nette et distincte de la surface du sol, ressemble alors à un "petit arbre" (figure 2.5 et 2.6).



Figure 2.5 : Nanophytion (et macroépilite).
(Abdeladim, Novembre 2004. Cliché : Jean Morschel)



Figure 2.6 : Nanophytion (et dermilite), répartition *mastocline*.
(Dorsale Tunisienne, Novembre 2004. Cliché : Nicolas Beroutchachvili)

Néophytion et Pénéphytion : plantes arborescentes dans leur forme juvénile. Le néophytion correspondant à la plantule "tout juste sortie de terre" ne présente pas encore de ramifications et se limite à une tige et quelques feuilles. La présence de néophytion indique que les arbres adultes ont pu se reproduire. Le pénéphytion représente un stade de croissance plus avancé, marqué par une ramification élémentaire et par un feuillage plus développé. La présence de pénéphytion indique que le milieu où les graines sont tombées est favorable au développement des arbres. De ce fait, seule la présence de pénéphytion en quantité signifie que la forêt se régénère (figure 2.7)



Figure 2.7 : Pénéphytion.
(Abdeladim, Novembre 2004. Cliché : Jean Morschel)

II.1.3 - La surface du sol : le métaplexion strict.

II.1.3.1 - Les formes minérales de la surface du sol.

Dermilite : Le dermilite constitue une croûte d'épaisseur souvent infra centimétrique mais parfaitement individualisée. Il représente la première "couche" du sol, celle qui est à l'interface avec la partie supérieure du milieu naturel, à dominante végétale. La limite supérieure du dermilite correspond souvent au *zéro centimètre* de référence dans l'analyse du milieu. La limite inférieure du dermilite correspond à une ligne de vacuoles qui, lorsqu'elle est très marquée, le sépare du reste du sol. Les dermilites sont généralement formés par la battance des gouttes d'eau lors d'un épisode pluvieux qui entraîne la destruction des agrégats du sol et le colmatage des pores par les particules fines. L'importance du dermilite est donc considérable en ce qui concerne les chemins de l'eau et les processus érosifs, mais les changements d'états fréquents qu'il subit le rend difficile à appréhender vis-à-vis de ces phénomènes (figure 2.8).

Epilite : Matériaux de nature minérale (parfois organo-minérale), de forme et de composition variées, distribués sur la surface du sol en fonction du micro-modèle et des modalités du transport hydrique, gravitaire, biologique... Leur granulométrie permet de distinguer quatre principaux types, du niveau microépilite (particules de la taille de grains de sable) au niveau gigaépilite (blocs de taille supérieure au décimètre). Les épilites sont de précieux indicateurs des phénomènes d'érosion, de transport et de dépôt qui s'effectuent à la surface du sol sous les effets de la pluie, du vent ou de la pesanteur.



Figure 2.8 : Dermilite et nécrophytion.
(Abdeladim, Novembre 2004. Cliché : Jean Morschel)



Figure 2.9 : Mesoépilite et macroépilite.
(Abdeladim, Novembre 2004. Cliché : Jean Morschel)

Phorophytion : sont regroupés sous ce terme l'ensemble des formes de végétation primitives et pionnières (algues, mousses, lichens...). Généralement dépourvues de racines, ces végétaux sont capables d'envahir les milieux les plus hostiles au développement de la végétation (substrats rocheux affleurants...). Lorsque le phorophytion est plaqué sur un dermilite, il témoigne de sa stabilité dans le temps et de l'absence des processus érosifs qui auraient conduit à sa destruction ou au changement de son état.

Nécrophytion / nécrumite : formes d'accumulations des débris végétaux. Le nécrophytion correspond aux litières constituées de végétaux morts de diverses natures, non dégradés par les processus biologiques et aux formes toujours reconnaissables qui se répartissent à la surface du sol. Le nécrumite représente des litières constituées de débris végétaux dans un état

de décomposition avancée et dont les éléments originels ne sont plus reconnaissables. Les litières nécrophytiques et nécrumiques se forment en fonction des changements saisonniers de la végétation et des conditions climatiques locales (topographie, humidité, exposition, chaleur...). Les accumulations organiques sont souvent opposées aux organisations minérales en terme de dynamique du milieu. Lorsqu'elles sont présentes en grande quantité, elles témoignent de sa stabilité et dénotent une absence de processus marqués d'érosion (contrairement aux accumulations minérales) figure 2.10.



Figure 2.10 : Nécrophytion et nécrumite.
(Abdeladim, Novembre 2004. Cliché : Jean Morschel)

II.1.3.2 - Les « formes végétales » de la surface du sol.

Rhizophytion : le rhizophytion qui correspond à la partie souterraine des plantes (racines, rhizomes...) se divise en deux grands ensembles. Les rhizophyses (chevelu racinaire) représentant les racines fines, très ramifiées et issues des racines principales qui assurent les fonctions d'expansion et d'exploitation du milieu souterrain (occupation de l'espace et utilisation de la ressource en eau). Le rhizophyse se retrouve plus fréquemment à proximité immédiate de la surface du sol et sa densité décroît à mesure que l'on s'enfonce dans le sol. Cependant, dans les milieux où l'eau est rare, ces racines occupent souvent des espaces souterrains très importants. Les rhizagés (axes racinaires ligneux) correspondant aux grosses racines de pénétration, d'exploration et de fixation dans le milieu souterrain. Les rhizagés peuvent s'étendre latéralement, à proximité immédiate de la surface du sol (comme c'est le cas de la plupart des pins par exemple) ou s'enfoncer plus profondément en son sein (racines pivotantes...).

II.1.4 - Les sols : le métaplexion inférieur.

Structichron : Les structichrons correspondent à des matériaux meubles de texture fine et de couleur souvent uniforme (vive dans les milieux tropicaux, plus pâle dans les milieux arides). Les structichrons sont liés aux processus de pédoplasation qui permettent le dégagement de structures pédiques caractérisées par des agrégats polyédriques fins ou grossiers qui les distinguent de celles du matériau d'origine. Leur mise en place s'est effectuée par argilisation,

division des particules et homogénéisation en un plasma à isotropie générale. Il convient de différencier les **vertichrons** et les **brunichrons**. Les vertichrons sont généralement de couleur grise, ils comprennent de très fortes teneurs en argiles (argiles gonflantes). De ce fait, leur comportement structural est essentiellement lié à la présence (ou l'absence) d'eau : ils sont très massifs en période humide et sont fortement fissurés en période sèche (développant des réseaux de fente de retraits polygonaux...). Les brunichrons eux se caractérisent par une couleur brune typique de la brunification et présentent une structure polyédrique généralisée ainsi qu'une importante macroporosité.

Entaféron : matériaux d'origine pédique mais qui sont susceptibles d'avoir subi une mobilisation, un transport et un dépôt sous l'action de l'eau, du vent ou de la pesanteur dans une dynamique colluviale généralisée. De texture limoneuse, bien triés et souvent associés à des matériaux hétérométriques (cailloux, graviers, sables...), les entaférons ne montrent pas de structures pédiques apparentes et laissent présumer un important lessivage. Dans un souci de précision, ce diagnostic est souvent associé au vertichron ou au brunichron. Entaféro-brunichron et Entaféro-vertichron permettent ainsi de distinguer la nature des matériaux (et les processus actifs lors de leur différenciation) et les dynamiques qui ont conduit à leur forme actuelle.

II.1.5 - Les formations géologiques superficielles : l' infraplexion.



Figure 2.11 : Régolite calcaireux en affleurement (position hypso-).
(El Hnach, Juillet 2002. Cliché : Elise Temple-Boyer)

Régolite : le régolite rassemble des éléments de roches dures altérables mais très peu altérés, de forme et taille variées définies essentiellement par la nature du substrat géologique et les processus de fragmentation et d'altération (alternance thermique, hydratation sélective, altération chimique au contact de l'eau...). Lorsqu'il affleure le régolite prend souvent la forme d'un ensemble compact qui correspond alors à la "surface du sol". Les processus de dégradation sont alors couplés à l'action du phorophytion (figure 2.11).

Tanolite : le vocable tanolite regroupe l'ensemble des éléments de roches tendres marneuses ou argileuses, peu altérées. La dégradation des tanolites dépend des processus physiques

(décompaction, pénétration de rhizophyses, humectation/dessiccation...), mais ce sont surtout les formes d'altération chimique, facilement repérables, qui conduisent à leur désagrégation avancée : processus d'oxydation, précipitation de carbonates... Les processus d'altération des tanolites sont d'excellents indicateurs du cheminement de l'eau dans le milieu naturel, traduisant notamment des phases d'hydromorphie temporaire (figure 2.12).



**Figure 2.12 : Tassikérite et tanolite marneux affleurant (vue d'ensemble),
Lambeaux de glacis fossilisé par croûte calcaire.**
(El Hnach, Novembre 2004. Cliché : Jean Morschel)



Figure 2.13 : Tassikérite surmontant un tafékérite.
(El Hnach, Juillet 2002. Cliché : Elise Temple-Boyer)

Altérite : Les altérites (isaltérites et allotérites) correspondent à des matériaux meubles qui résultent de dégradation très avancée de la roche mère régolique ou tanolique. Les processus d'altération sont essentiellement des processus chimiques (hydrolyse, dissolution, oxydation et réduction...) qui ont lieu au contact d'une eau pérenne (ou quasi-pérenne) dans le milieu

naturel. De ce fait, dans les régions sèches du globe, ces matériaux sont hérités d'un passé plus humide, le climat actuel ne favorisant pas leur formation. Les altérites sont souvent en *intergrade* avec le régolite ou le tanolite, on parle alors d'alté-régolite ou d'alté-tanolite. En outre, il est courant de distinguer les isaltérites, pour lesquels les volumes originels de la roche sont conservés, des allotérites dont la présence laisse supposer d'importants départs de matière (solution, pseudo-solution...).

Kérite : les kérites correspondent aux formes d'accumulation secondaire du calcaire dont les exemples les plus remarquables sont les glacis encroûtés très présents dans le monde méditerranéen. Il convient de distinguer les formes de concentration continues qui peuvent atteindre plusieurs mètres d'épaisseur, des formes particulières qui témoignent de processus récents et encore actifs de nos jours. Parmi les formes continues les **tassikérites** sont des ensembles qui correspondent à des croûtes indurées qui pourraient être apparentées (au moins au niveau de la dureté) à des régolites. Les **tafékérites** représentant plutôt des encroûtements massifs et compacts mais non durcis et pénétrés par les axes racinaires. Les kérites sont un des éléments clés de l'analyse des paysages tunisiens (figure 2.13).

II.1.6 - Les éléments qui n'appartiennent à aucun type particulier.

L'ensemble des diagnostics présenté jusque là obéit à des règles d'organisation générale et bien que des exceptions notoires puissent être signalées dans certains cas il est rare de retrouver les matériaux ailleurs que dans leur position habituelle. Il est de ce fait possible de les classer dans une catégorie qui regroupe des matériaux du même type. En revanche, deux matériaux particuliers peuvent se retrouver à n'importe quel niveau de la géosphère sans que cela laisse transparaître l'idée d'un "accident de parcours" : il s'agit de l'air et de l'eau.

- **Aérophyse** : l'aérophyse correspond au volume occupé par l'air libre compris entre les autres composantes de la géosphère.
- **Hydrophyse** : l'hydrophyse correspond au volume occupé par l'eau libre, circulante ou stagnante, comprise entre les autres composantes de la géosphère.

Ces deux matériaux sont très difficiles à mesurer sur le terrain, à moins de disposer d'un appareillage sophistiqué et souvent coûteux. Relever leur présence est cependant d'une grande importance dans l'analyse puisqu'ils correspondent aux principaux vecteurs de transfert de matières et d'échanges énergétiques du milieu naturel.

Les termes définis dans les paragraphes précédents sont ceux utilisés dans le cadre de l'analyse des paysages. Seul les principaux *diagnostics*, ceux qui reviendront le plus souvent dans cette thèse, sont présentés ici. Il convient d'expliquer maintenant les "règles de grammaire" qui régissent les relations entre ces différents termes et qui permettent, à partir d'un nombre limité de mots, de caractériser *rapidement* et *efficacement* la plupart des composantes du milieu naturel.

II.2 - LA DIAGNOSE DU MILIEU NATUREL;

Il paraît important, maintenant que ces termes sont partiellement définis, de justifier les raisons de leur création et de motiver celles de leur utilisation. En effet, on est en droit de se demander pourquoi avoir créé un tel langage alors que d'autres disciplines qui traitent du

milieu naturel (notamment la pédologie et la botanique) disposent déjà d'un arsenal complet, efficace et reconnu par tous.

Ce paragraphe s'articule autour des trois points qui permettent de justifier cette démarche et de l'inscrire sur un plan théorique et épistémologique. Il aborde ainsi les origines de ce langage puis s'intéresse aux règles de grammaire qui le régissent et enfin présente les principes à appliquer lorsqu'on cherche à caractériser le milieu naturel de cette manière.

II.2.1 - Les origines du langage.

Il faut remonter au milieu des années 1970 pour trouver les origines de ce vocabulaire et de la méthode de collecte de l'information sur le terrain qu'il induit. L'idée d'un langage transdisciplinaire est née de la rencontre de chercheurs appartenant à des disciplines différentes mais travaillant en collaboration sur les mêmes milieux.

Parmi ces chercheurs, Jean-François Richard qui cherche à trouver la place du Géographe au sein des personnes qui traitent du milieu naturel (géomorphologues, écologues, pédologues, botanistes...) émet deux principes fondamentaux qui structurent sa démarche scientifique ainsi que celle de l'équipe qui travaille avec lui : "passer du *Milieu* des Naturalistes au *Paysage* des Géographes et faciliter cette opération par la pratique d'une terminologie commune, employée tout autant pour *lire et écrire* le milieu ou le paysage que pour *dialoguer* entre chercheurs concernés" (Rougerie & Beroutchachvili, 1991).

Les travaux entrepris alors conduisent à une réflexion théorique sur la "Géographie du Paysage", basée sur la distinction entre les facteurs qui structurent le paysage (caractères endogènes) et les facteurs énergétiques qui assurent son fonctionnement (caractères exogènes). Considérant les premiers facteurs comme prépondérants (car plus facilement perceptibles) dans la définition du paysage, l'auteur affiche déjà le besoin de caractériser le milieu naturel en fonction de ce que l'on voit directement plutôt que par ce qui se mesure à l'aide d'appareillages complexes, lourds à mettre en place ou destructeurs vis-à-vis du milieu naturel. Une nouvelle approche pour caractériser le milieu est d'ailleurs proposée par Filleron & Richard (1974). Elle combine : inventaires de terrain codés, analyses de documents cartographiques et analyses d'images aériennes dans le but de faire ressortir la structure du paysage. Malheureusement, comme le rappellent Rougerie & Beroutchachvili (1991), malgré les nombreux travaux associant des chercheurs venant d'horizons différents, aucun rendu réellement intégrateur n'est encore possible faute d'un langage approprié.

Dans le même temps, Yvon Chatelin, qui cherche à réformer les méthodes de la pédologie lance les bases d'une nouvelle approche pour aborder l'analyse des sols. Ce dernier part du constat que dans la pédologie classique, il existe un nombre de types de sols bien trop grand pour pouvoir être mémorisé et par conséquent utilisé lors d'une campagne de terrain : "A un niveau différent de celui de l'horizon, le procédé est le même lorsque l'on constitue des séries de sols. Cette fois il y en a 8000 à 9000 pour les seuls USA. La *condensation sémantique* est moins importante que dans le cas précédent (NDLA : les 23 horizons de l'USDA) mais sort de toute possibilité de mémorisation (...), une typologie qui comprend plusieurs milliers de types ne peut-être manipulée que dans le cadre d'une banque ou d'un bureau de traitement" (Chatelin, 1978). Il s'est alors attaché à élaborer de nouveaux diagnostics, basés sur des règles de partage *sémantique* (qu'il oppose à celles de condensation sémantique en vigueur) pour apporter plus de réalisme dans la perception des données qu'il collecte sur le terrain. Il propose ainsi, dès 1971, un vocabulaire descriptif spécifique pour caractériser les sols. En 1974 Francis Kahn, s'inspirant de ces travaux pour caractériser les architectures des arbres tropicaux (dans les modèles de croissance de Hallé et Oldeman), propose lui aussi une terminologie qui profite des mêmes règles.

C'est de la rencontre de ces trois chercheurs (Mr Richard, Mr Khan et Mr Chatelin) qui s'accordent sur la nécessité de ce langage commun pour caractériser le milieu naturel et les paysages que naît "officiellement" l'équipe de l'Analyse Transdisciplinaire du Milieu ou ATM. Ce début est concrétisé par la publication en 1977 dans les cahiers de l'ORSTOM d'un article intitulé *Vocabulaire pour l'étude du milieu naturel (tropiques humides)* co-signé par les trois chercheurs. S'en suit, en 1978 la publication, toujours aux éditions de l'ORSTOM, d'un manifeste intitulé *Recherche d'un langage transdisciplinaire pour l'étude du milieu naturel (tropiques humides)*, (Beaudou & al.) qui regroupe les communications de conférences (Paris, Montpellier et Abidjan) proposées par plusieurs personnalités qui adhèrent à ce courant de pensée et participent à son élaboration.

II.2.2 - La grammaire scientifique.

L'idée de Chatelin (1978) était de créer une grammaire scientifique basée sur des mots qu'il est possible de décliner selon les règles de la grammaire française et qui permettent, en fonction de la forme qu'ils prennent, de caractériser les différents états d'un matériau donné pris à part ou en interaction avec d'autres matériaux du milieu naturel. Les termes présentés dans le premier paragraphe de ce chapitre correspondent à un petit aperçu de l'ensemble du vocabulaire créé. Les règles de grammaire proposées par Chatelin, basées sur la notion de partage *sémantique* et de la *combinaison langagière*, puis reprises dans le cadre de l'ATM offrent la possibilité de repérer un grand nombre de matériaux et d'organisations du milieu naturel.

Rougerie et Beroutchachvili (1991) précisent que chaque matériau rencontré lors d'une analyse du milieu naturel est désigné par une série de noms (*substantifs* et *adjectifs*) dont chacun correspond à un niveau de diagnostic morphologique de l'objet qu'il représente : depuis l'élément identifié en tant que tel, jusqu'à la structure qui organise les divers éléments entre eux. La terminologie représente une combinatoire qui permet de passer de la simple description qualitative et statique à une diagnose quantitative et dynamique du milieu naturel.

Richard & al. (2003) rappellent que ces règles permettent de définir quatre niveaux de diagnostics. Lorsqu'ils portent sur la nature et la formation des matériaux, les diagnostics correspondent à des **diagnostics primaires** (les *noms substantifs* des matériaux présentés dans les premiers paragraphes). Ce premier niveau de diagnostic peut en outre être complété par des informations sur la variabilité intrinsèque des matériaux rencontrés. Représenté par des *adjectifs* qui peuvent être issus des matériaux énoncés dans les premiers paragraphes ou tirés du vocabulaire courant (il n'est en effet pas rare de faire référence à des couleurs, de texture, de nature...), ce second niveau de diagnostic permet la définition de **variantes majeures** qui viennent ainsi compléter et préciser les diagnostics primaires. Les niveaux trois et quatre de la diagnose permettent enfin de définir (respectivement) la structure interne des matériaux et leurs caractéristiques plus spécifiques. Les structures internes sont désignées par une autre série de *noms adjectifs* (non tirés, cette fois, des noms substantifs des diagnostics primaires) qui correspondent à des **variantes secondaires**. Les caractéristiques spécifiques peuvent être représentées par l'appartenance des matériaux à des systèmes de classification autres (taxinomie végétale, classe pédologique...) et sont nommées **variantes complémentaires**. De ces quatre niveaux de diagnose, seule la définition de diagnostics primaires est véritablement indispensable à l'analyse, les autres apparaissent (en fonction du temps disponible et de la finesse recherchée) dans le cas de relevés plus détaillés et visent à apporter des qualificatifs supplémentaires pour préciser l'analyse qui est faite à partir du matériau principal. Un exemple de diagnostic (très) détaillé est donné dans le tableau ci-dessous (tableau 2.1) :

Tableau 2.1 : Exemple d'identification détaillé d'un matériau *entaférique*.

Diagnostic primaire	Variante majeure	Variante secondaire	Variante complémentaire
Entaféron	Tafékéritique	Aclode	Texture limoneuse, de couleur pâle, très compact
Matériau d'apport colluvial...	... partiellement encroûté...	... et sans agrégats apparents...	... qui figure dans un ensemble compact très lessivé !

Les diagnostics présentés jusqu'à présent s'appliquent aux composantes les plus fréquentes du milieu naturel, celles qui de par leur nature renvoient à l'image la plus typique de ce que l'on peut trouver et qui peuvent, par conséquent entrer dans une nomenclature. En revanche, sur le terrain, de nombreux particularismes apparaissent. Les recenser tous et en réaliser une classification ferait perdre l'avantage offert par la méthode proposée et entraînerait irrémédiablement un retour vers les modèles classiques dont a déjà été évoqué la lourdeur à manipuler sur le terrain (c.f : II.1.2.1 - Les origines du langage). Pour palier au fait que 78 diagnostics primaires ou *orthotypes* ne permettent pas de caractériser ces nombreux particularismes, la règle de la *combinatoire langagière* (et la notion d'*intergrades* qui lui est associée) a été émise : chaque orthotype peut donc être utilisé en tant que préfixe et être ainsi associé aux autres diagnostics. Pour reprendre un exemple cher à Jean-François Richard et explicitant très bien cette démarche, il est possible, à l'aide de deux noms (paliphyse et prophyse) de caractériser l'ensemble des étapes de la croissance des arbres, simplement en jouant sur les règles du partage sémantique et de la combinatoire (tableau 2.2) :

Tableau 2.2 : Identification des formes de transition entre le stade *prophyse* et le stade *paliphyse*.

<i>Substantifs (diagnostics primaires)</i>	
Paliphyse et Prophyse	
<i>Préfixes (intergrades)</i>	<i>Adjectifs (variantes majeures)</i>
Pali- et Pro-	Paliphysé et Prophysé

Prophyse → Prophyse paliphysé → Pali-prophyse → Pro-paliphyse → Paliphyse prophysé → Paliphyse

Procédant ainsi, il est possible d'établir, à partir des 78 diagnostics primaires préalablement définis, de créer jusqu'à 24000 nouveaux diagnostics pour caractériser les composantes du milieu naturel, soit plus (ou au moins autant) que n'importe quel type de classification et ce sans tomber dans les lourdeurs d'une typologie parfaitement définie au préalable, comme il en existe pour les sols et les plantes.

II.2.3 - Les principes de la diagnose du milieu naturel.

Basée sur les règles définies par l'ATM, la collecte des informations sur le terrain doit répondre à trois principes généraux : celui de l'*exhaustivité*, celui de l'*homogénéité* et celui de la *rapidité* (Richard & Beroutchachvili, 1996 ; Richard & al. 2003).

La contrainte d'*exhaustivité* est motivée par le fait qu'il est illusoire de vouloir retourner au même endroit sur le terrain pour compléter des informations manquantes. En effet, une fois la collecte des données réalisée, il ne sera plus possible de savoir s'il manque des éléments parmi ceux relevés et donc de pouvoir les compléter au cours d'une nouvelle campagne de terrain. Il s'agit donc de relever toutes les composantes visibles telles que les sols, la végétation, les litières organiques (...) mais aussi invisibles ou difficilement quantifiables telles que l'air et l'eau contenue dans le milieu.

La contrainte d'*homogénéité* est imposée par les traitements qui seront faits à partir des observations relevées sur le terrain. Pour pouvoir les comparer entre eux, ces relevés devront être réalisés à l'identique quel que soit le paysage étudié et répondre d'une même finesse d'analyse. En effet, pour ne pas se limiter, lors des traitements, au *plus petit dénominateur commun* imposé par une collecte d'information plus grossière sur certains relevés, il est important que toutes les composantes fassent l'objet des mêmes observations et des mêmes mesures (Richard & al, 2003).

Enfin la contrainte de *rapidité* relève du fait qu'il faille, pour être le plus pertinent possible quant aux analyses réalisées sur ces données, disposer du plus grand nombre possible d'observations. Comme cette collecte ne peut (et ne doit) se faire que sur le terrain, il est nécessaire d'employer une méthode qui permette de caractériser le plus précisément possible le milieu étudié sans sombrer dans la lourdeur technique de la description élémentaire, trop longue à mettre en œuvre. Le travail de terrain se limitera ainsi à l'identification des composantes du milieu et non à celle de leur organisation qui est réservée à une étape ultérieure du travail.

C'est pour permettre de répondre de manière *simple* à ces trois contraintes que le vocabulaire et la méthode de collecte d'informations qui lui est associée ont été créés. Il s'agit de "porter un *diagnostic* sur les composantes du milieu" (Richard et al, 2003), c'est-à-dire d'acquérir les connaissances sur le milieu naturel à partir des signes directement perceptibles sur le terrain. En d'autres termes, cela correspond à *différencier*, *reconnaître* et *identifier* des matériaux de référence définis et répertoriés au préalable. La réalisation d'un diagnostic fait donc appel à la nature et à la morphologie du matériau lui-même (différenciable par la perception directe), détaché de l'ensemble auquel il appartient, ainsi qu'aux processus et aux dynamiques que ce matériau implique par sa présence dans le milieu naturel (re-connaissance par rapport à la connaissance scientifique globale). L'identification résulte de ces deux premières étapes, elle consiste en l'attribution d'un nom qui fait référence aux observations réalisées.

La diagnose du milieu naturel s'attache donc à distinguer des structures dans la nature et à les rattacher aux processus et aux dynamiques auxquelles elles renvoient. Ainsi, un arbre ne sera pas abordé dans son intégralité mais en fonction des différentes *structures végétales* qui entrent dans sa composition : le type de feuillage et sa position par rapport à l'ensemble de la plante (paliphyse ou prophyse), le type de tronc (stylagé...), le type de ramifications (dendrigé...), le type de racines (rhizophyse ou rhizagé). Autant d'éléments qui permettent à l'œil aguerri de connaître son "histoire" ainsi que son avenir et de déterminer par la même occasion les dynamiques du milieu dans lequel il s'inscrit. Diagnostiquer un *paliphyse* signifie que l'on voit la cime d'un arbre étalée en longueur et supportée par de grosses branches et que l'on reconnaît que l'arbre a atteint son stade maximal par rapport à son modèle de croissance et que son évolution aboutira (à plus ou moins long terme) au stade *nécrophytique*. Diagnostiquer un *paliphyse* en dit long sur la composition, l'état et la dynamique du milieu. Mais diagnostiquer un *paliphyse* est quelque chose de très rapide à réaliser et ne nécessite pas une connaissance préalable très approfondie des taxonomies végétales complètes. On ne cherche pas à connaître l'espèce à laquelle appartient ce paliphyse (du moins pas dans un premier temps) mais les spécificités à laquelle cette structure renvoie et qui permettent de

comprendre de nombreux éléments relatifs à l'état et aux dynamiques du milieu dans lequel elle s'inscrit.

II.3 - UN EXEMPLE CONCRET DE DIAGNOSTIC.

Maintenant que nous y voyons plus clair dans la terminologie et dans ce qui a conduit à sa mise en place, prenons un exemple concret et détaillé de ce qu'elle permet de réaliser comme analyse du milieu naturel. L'exemple proposé est bien entendu très riche de significations tant d'un point de vue de la structure du paysage que de sa dynamique. Tous les relevés réalisés ne permettent évidemment pas d'obtenir une telle richesse d'informations, pour la simple raison que le paysage sur lequel ils sont effectués ne présente pas forcément des caractéristiques structurales et dynamiques très contrastées.

L'exemple proposé est celui d'une entité développée sur un affleurement de grès du bassin versant de Kamech (sixième relevé de la première toposéquence) :

Ce qui est identifié (3)

KAM Q1 R6 h9 (h-6 ; 10 cm) : Allotérite gréseux (63 %) pardi-réductique nébuloïde (20 %) à phase calcinique nodulaire ou mycéloïde fistulaire (5 %) et à stigme brunichrome (1 %) et gravolique (2 %), dans lequel figurent, dans une moindre mesure, des mesogravelons gréseux amblymorphes (6 %), des rhizophyses (1 %) et une part très faible d'aérophyse (2 %)

... Ce que l'on perçoit (1)

Suivant les principes énoncés, il est possible de traduire la composition de cet *hoplexol* : il s'agit en fait d'une roche gréseuse en place très fortement altérée dont les structures originelles (diaclasses...) ne sont plus visibles (*allotérite gréseux*), dans laquelle s'insèrent des marbrures de couleur grise, de texture argilo-sableuse, et des marbrures de couleur jaune de texture plus argileuse (*pardi-réducton nébuloïde*), et qui comprend, dans une moindre proportion, des traces de sols bruns (*brunichron*), des concentrations de calcaire sous la forme d'amas cohérents (*calcinite nodulaire*) ou de pseudo-mycéliums (*calcinite mycéloïde nodulaire*) et des éléments ferrugineux grossiers de la taille de graviers (*gravolite*). Ces matériaux cohabitent, en outre avec des graviers gréseux de taille inférieure au centimètre aux arêtes émoussées (*mésogravelon amblymorphes*), un chevelu racinaire d'expansion et d'exploitation du milieu souterrain (*rhizophyse*) ainsi qu'une très faible part d'air (*aérophyse*) traduisant la compaction générale de cette entité.

... Et ce que l'on re-connaît (2) !

L'interprétation va bien au-delà de la simple description qui vient d'être réalisée, elle suggère une connotation relative aux dynamiques qui ont conduit à la différenciation de cette entité et aux processus qui sont encore en cours actuellement au sein de cette entité. Du point de vue dynamique de la pédogenèse, cela indique que l'on se situe dans un ensemble qui n'est plus constitué de roches mais que l'on ne peut pas encore qualifier de sols. La part extrêmement faible de sol brunifié confirme par ailleurs ce propos. Le ciment qui liait les grains de quartz dans la couche géologique a totalement disparu, du moins sous sa forme originelle. A la place existe désormais un banc de sable sans cohésion à l'intérieur duquel apparaissent des concentrations d'argile provenant (probablement) de l'altération chimique de la roche mère et de la restructuration du ciment qui la caractérisait (Duchaufour, 1970). Compte tenu du fait que de tels processus ne peuvent se réaliser qu'en présence d'eau et que la couche sableuse ne

semble pas avoir subi de transport hydrique, il est possible d'affirmer d'une part que cet hoplexol s'est développé sur place et en profondeur (l'absence de cohésion entre les grains de sable aurait conduit rapidement à son ablation si les matériaux s'étaient trouvés en surface) et d'autre part qu'il a subi des phases d'hydromorphie, au moins temporaires, lors de sa formation.

Si l'on continue ce raisonnement, les processus de mobilisation et de concentration des oxydes de fer à ce niveau du relevé traduisent eux aussi ces phénomènes. Il est donc très fortement probable qu'au cours de la période hivernale une nappe perchée se forme à cet endroit. La période d'anaérobiose qui la caractérise aboutit à la solubilisation des oxydes de fer contenus dans les argiles et à leur migration sur de courtes distances. L'assèchement de la nappe, au cours de la période estivale, conduit à la réoxydation complète du fer et à sa précipitation, soit sous la forme de taches diffuses dans le milieu, soit sous la forme de concrétions plus solides. Ce processus mène progressivement à la formation d'un pseudogley dans lequel s'individualisent des taches gris clair ne contenant qu'une quantité limitée de fer ferreux et des taches jaunes enrichies en fer oxydé qui figurent sous le vocable de pardi-réducton nébuloïde. Ces propos sont en outre confirmés par la faible expansion racinaire tout à fait caractéristique de ce type de matériau (Duchaufour, 1970).

De même, il est possible de prolonger l'argumentation en analysant les phénomènes de concentration et d'induration des calcaires qui, même s'ils sont très minoritaires dans cet hoplexol, sont aussi des témoins marquants de sa dynamique. Ainsi, Boulaine (1957) et Ruellan (1970) ont montré que les encroûtements nodulaires (puisque c'est bien de cela qu'il s'agit ici, même si celui-ci n'est pas très développé) résultent d'une phase de lessivage oblique le long des pentes qui permet de dissoudre le calcaire des sols tout en enrichissant le ruissellement hypodermique en carbonate de calcium et d'une phase de précipitation / cristallisation qui permet la néo-formation de calcaire sous une forme poudreuse et peu cohérente. Ces faibles encroûtements connotent eux aussi un comportement hydrodynamique typique des milieux semi-arides, qui se caractérise par une période d'humidification de l'hoplexol, permettant la dissolution des carbonates contenus dans le sol puis d'une phase d'assèchement par évaporation qui permet la formation progressive de l'encroûtement, par apports successifs au fil du temps. En outre, deux états d'avancement sont remarquables, la forme nodulaire d'une part, qui dénote un aspect plus achevé de l'encroûtement sous la forme d'amas compacts et cohérents (bien qu'une simple pression des doigts suffise à les désolidariser) et la forme mycéloïde d'autre part qui correspond aux premières formes d'individualisation des calcaires, dont la disposition fistulaire renseigne sur les mouvements verticaux de l'eau dans les fissures présentes dans cet hoplexol (Lozet & Mathieu, 1997). Procédant ainsi, matériau par matériau, hoplexol par hoplexol, relevé par relevé, il est possible d'obtenir rapidement une identification des objets qui composent le milieu naturel, de comprendre les organisations de ces matériaux entre eux et d'obtenir une explication précise sur les dynamiques du milieu, qu'il s'agisse des dynamiques évolutives (donc sur le long terme), ou des comportements à plus court terme (saisonniers, journaliers).

CONCLUSION

La diagnose du milieu naturel repose donc sur 78 diagnostics primaires (dont quelques exemples typiques du monde méditerranéen sont proposés dans les premiers paragraphes de ce chapitre). Ces diagnostics définis dans le cadre de l'ATM (et repris dans la thèse de Richard, 1989) ont fait l'objet de publications dans les dictionnaires de Lozet et Mathieu (1997) en ce qui concerne les composantes des sols du domaine ferrallitique et celui de Da Lage et Métaillé (2000) qui se sont attachés à répertorier les composantes du domaine végétal,

ce qui leur confère désormais une reconnaissance scientifique considérable dans le domaine de l'analyse du milieu naturel. Mais la méthode proposée va plus loin que ces quelques énumérations. Elle permet en effet, par le biais des règles de grammaire basées sur les notions de partage sémantique et de combinatoire langagière (Chatelin, 1971 ; Chatelin, 1978), de définir près de 24000 nouveaux diagnostics (Richard et al., 2003), autant de composantes du milieu naturel qu'il est alors possible d'appréhender par la simple observation.

CHAPITRE III

LES AXES DE LA GEOSPHERE

INTRODUCTION

Le milieu naturel, tel qu'il est entendu dans cette étude correspond à la **Géosphère** (Da Lage et Métaillé, 2000 ; Richard, 2001). Cette géosphère représente, dans le cadre de l'ATM en général et de cette thèse en particulier, l'espace compris entre le sommet des couvertures végétales, dont le contact avec « l'atmosphère libre » forme une première limite nommée **acropause**, et le front de pénétration racinaire (qui coïncide aussi généralement avec le front d'altération des roches) dont le contact avec la lithosphère saine forme la seconde limite que nous nommerons **catapause** (cette limite est moins aisée à définir que la première, surtout dans les milieux développés sur roches tendres). Enfin, **l'épipause** correspond à la surface du *sol* et apparaît aussi comme une discontinuité majeure dans la géosphère puisqu'elle se situe à l'interface entre le domaine majoritairement minéral et le domaine majoritairement végétal.

Lieu des plus intenses activités biologiques, chimiques, animales et végétales ; lieu où se situent la majorité des ressources renouvelables de la planète ou encore lieu d'implantation et d'action privilégié des hommes, la géosphère est aussi le lieu où le cheminement de l'eau est le plus complexe, là où il subit les plus importantes et les plus brutales variations (Richard 2001). Etudier la géosphère présente un intérêt évident, notamment lorsque cette étude se fait en rapport avec le *Cycle de l'eau* car il est envisageable d'expliquer (et de *modéliser*) son cheminement dans le milieu à partir de sa propre analyse.

Son analyse nécessite de comprendre comment celui-ci s'organise, sur un plan théorique dans un premier temps, avant de pouvoir aborder les questions plus particulières de Kamech, El Hnach et Abdeladim.

Ce troisième chapitre s'attache donc à montrer les notions élémentaires qu'il faut admettre pour pouvoir étudier la géosphère en se plaçant sous l'angle de l'analyse des paysages telle qu'elle est définie par l'ATM. Il s'articule autour de trois paragraphes principaux. Le premier vise à définir la notion d'hoplexol, "unité élémentaire" de la géosphère, dont la délimitation est à la base de toute analyse du milieu naturel. Dans un second paragraphe sont abordés les conséquences des changements qui s'opèrent dans les hoplexols selon un axe vertical qui s'étend depuis l'acropause jusqu'à la catapause. Enfin, le troisième paragraphe présente les unités spatiales (et les emboîtements d'échelle qui leur sont associés) qui apparaissent lorsqu'un profil vertical donné de la géosphère change de manière significative. Le plan de ce chapitre part donc du niveau le plus élémentaire du milieu naturel (l'hoplexol - et les matériaux qui le caractérisent) pour arriver au niveau le plus général (le paysage - et l'ensemble des organisations qui lui sont associées) et tente de montrer comment se font les passages d'une échelle à l'autre.

III.1 - LA NOTION « D'HOPLEXOL ».

Ce premier paragraphe présente la notion d'**hoplexol**, élément incontournable de l'analyse d'un paysage puisqu'il se situe à la base de son organisation. Après avoir abordé la question de sa définition, celui-ci traite de celle de sa différenciation sur le terrain. En dernier lieu, deux

éléments clés de l'analyse dynamique du paysage, qui interviennent dès le niveau élémentaire que représente l'hoplexol, sont également définis.

III.1.1 - Qu'est-ce qu'un hoplexol ?

Selon l'axe vertical, la géosphère est constituée de plusieurs « couches » d'extension donnée, superposées les unes aux autres et généralement disposées parallèlement à la surface du sol. En fonction du paysage pris en compte (et aussi parfois au sein d'un même paysage), ces couches ont un développement plus ou moins important et le nombre de composantes qui les caractérisent est plus ou moins variable en qualité et quantité mais elles témoignent toujours d'une organisation qui se répète.

Ainsi, depuis l'acropause et jusqu'à la catapause, apparaissent successivement des ensembles constitués par des fractions variables d'air et de végétation, puis de végétation, d'air et de sols, puis de sols, d'air et d'eau, puis de sols, de roches et d'air (Richard, 2001).

Si l'on ajoute à toutes ces composantes *tangibles* qui apparaissent dans le milieu naturel les flux exogènes qui sont absorbés et qui transitent dans le paysage et les flux endogènes libérés lors des processus de transformation du milieu, alors chaque couche délimitée par l'observation directe apparaît comme un véritable sous-système physique individualisable (Richard 2001). Les couches ainsi définies correspondent à des **Hoplexols**.

L'hoplexol représente donc au *système élémentaire* du paysage, l'entité de base qu'il est nécessaire d'appréhender pour le caractériser correctement. Chaque hoplexol rassemble un ensemble de composantes variables dans leur nature et dans leur proportion qui génèrent des flux, permettent leur transit ou encore les absorbent. Les flux considérés étant essentiellement des flux hydriques et énergétiques.

Comparable au *Géohorizon* (Rougerie, 1988) de la Science du Paysage soviétique, défini comme étant un "élément homogène de la structure verticale du *géosystème*" (Da Lage et Métaillé, 2000), l'hoplexol se distingue nettement des horizons des pédologues et des strates des botanistes. En effet, la délimitation ne se fait pas en fonction d'un type de caractère physico-chimique prédéterminé ou en fonction de classes de hauteurs établies à l'avance, mais fait intervenir toutes les composantes du milieu naturel. Ainsi, dans les hoplexols inférieurs (c'est-à-dire situés sous la surface du sol), les matériaux visibles tels que la terre, les cailloux ou les racines seront identifiés (et quantifiés individuellement) mais aussi, et surtout, seront relevés des éléments tels que la présence d'air et d'eau, l'activité de la faune, les organisations qui semblent apparaître ou disparaître dans l'hoplexol, autant de témoins du changement saisonnier ou de l'évolution de l'hoplexol qui traduisent sa dynamique.

III.1.2 - Considérations sur la délimitation des hoplexols.

Concrètement, la définition des hoplexols se fait en fonction des changements constatés tant au niveau des matériaux qui les composent qu'à celui des volumes qu'ils représentent. Il s'agit donc de rechercher où ces changements interviennent et comment ils s'opèrent. Ainsi, dès qu'une variation significative apparaît dans le volume des matériaux et/ou dans les dynamiques imputables à un hoplexol donné, un nouvel hoplexol doit être signalé, répertorié et ses composantes relevées et quantifiées. Dans la mesure du possible, le chercheur de terrain devra détecter ces hoplexols et tenter d'en répertorier *le plus grand nombre*. En effet, il sera toujours permis dans le cadre des traitements réalisés sur les données de terrain de regrouper les hoplexols très ou trop similaires, mais il sera totalement impensable d'en ajouter un qui

serait absent et qui pourrait entraîner un manque ou des incompréhensions au moment de l'analyse.

Quoi qu'il en soit, la difficulté rencontrée sur le terrain pour appréhender directement les flux fait que la délimitation des hoplexols s'intéresse uniquement à ce qui est directement perceptible. Richard (2001) précise à ce sujet qu'une étude exhaustive des flux (hydriques et énergétiques) dans ce système élémentaire (et dans le système global) relève encore du domaine de l'exception. Elle n'est en effet réalisable que dans un très petit nombre de cas et est liée à la présence de stations de mesure très coûteuses et difficilement transportables. La caractérisation des hoplexols se résume donc à la qualification et la quantification de ce qu'il est directement possible de repérer à savoir ses composantes visibles ainsi que les organisations qu'elles induisent (Richard, 1989 ; Richard, 2001 ; Da Lage et Métaillé, 2000). L'étude des flux, ou tout du moins l'interprétation permise à partir des organisations relevées, est par conséquent réalisée *a posteriori*, lors des traitements effectués et des analyses réalisées sur ces données.

III.1.3 - « Phases » et « stigmes », deux éléments essentiels à la compréhension des dynamiques paysagères.

Traduire la dynamique évolutive à plus ou moins long terme d'un hoplexol et de celle du paysage dans son ensemble, en se basant uniquement sur les organisations des composantes n'est pas toujours aisé. Il est toutefois envisageable de constater que les composantes qui s'inscrivent dans un hoplexol ne se répartissent pas toujours selon l'horizontale. Certaines formes caractéristiques connotent des phénomènes d'apparition (et de disparition) d'organisations particulières dans l'hoplexol. Ceci mène à présenter deux éléments supplémentaires à l'analyse : les ***phases*** et les ***stigmes***. Sont réunis sous ces termes des composantes du milieu naturel (ou des organisations de composantes) qui ne répondent pas aux critères d'organisation *normaux* de la géosphère. Les phases sont des éléments (ou ensembles d'éléments) minoritaires de l'hoplexol, de forme allongée répartie suivant l'horizontale ou la verticale (ou toute autre étape intermédiaire entre ces deux axes) qui montrent des phénomènes d'envahissement d'un hoplexol par un autre et qui traduisent par là même sa dynamique. Ainsi, dans un hoplexol *alté-tanolique*, une phase *brunichrome* indique que des mécanismes liés à la pédogenèse sont à l'œuvre et que les actions chimiques et biologiques qui lui sont attachées aboutiront, à plus ou moins long terme, à l'envahissement total de l'hoplexol par un sol brun remplaçant peu à peu le *tanolite* actuel. De la même manière, la présence de stigme dans un hoplexol indique que des figures ponctuelles apparaissent ou disparaissent en son sein. Concernant la végétation par exemple, un *nanophytion* à stigme *néo-nanophytique* indique une reprise de la végétation suite à une période végétative ou à l'arrêt du pâturage selon les cas. De par leurs caractères, ces phases et ces stigmes doivent être repérés et répertoriés lors des relevés de terrain car ils permettent des interprétations importantes concernant les changements à court, moyen et long terme qui surviennent dans le milieu.

La notion d'hoplexol est à la base de l'étude de la géosphère. Elle en est l'élément incontournable et sa différenciation sur le terrain est indispensable à l'analyse. En effet, ce sont les changements qui surviennent dans ces *systèmes élémentaires* qui conditionnent l'ensemble du milieu naturel, tant sur l'axe vertical qu'en ce qui concerne les extensions latérales d'un profil vertical donné. Les paragraphes suivant présentent les implications induites par les changements qui surviennent dans les hoplexols au niveau de l'organisation globale du milieu.

III.2 - DEVELOPPEMENT ET COMPLEXITE DE LA GEOSPHERE.

La géosphère se découpe suivant deux axes : l'axe vertical qui permet de déterminer son *développement* et sa *complexité* et l'axe horizontal qui témoigne des *changements* dans le profil vertical et donc de *l'organisation latérale* du milieu naturel.

III.2.1 - Généralités.

La nature des matériaux change d'un hoplexol à l'autre, parfois de manière infime (changement dans les proportions essentiellement, modifications « légères » de leur nature), mais parfois aussi de manière singulière (changements radicaux de proportions ou de nature). Ces changements sont illustrés sur la figure 3.1 qui montre un *relevé du milieu*, c'est-à-dire un point d'observation de la géosphère à partir duquel sont identifiés ses composantes et leurs organisations, réalisé sur le bassin versant d'El Hnach.

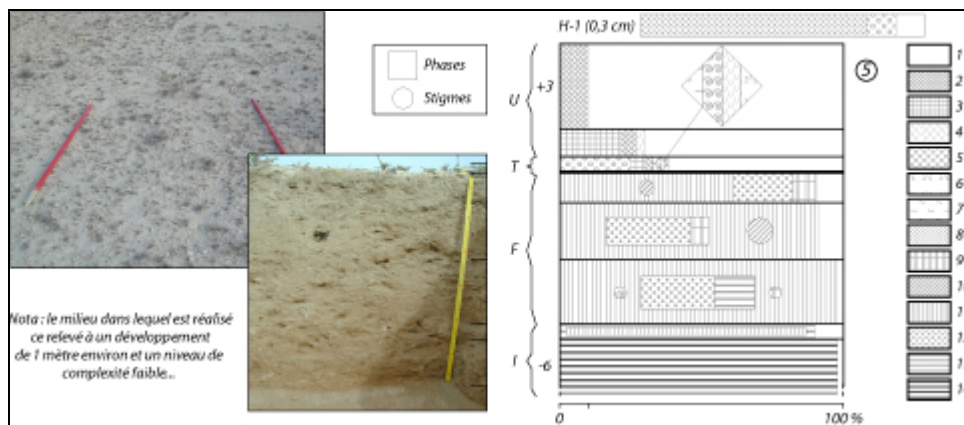


Figure 3.1 : Le milieu naturel d'El Hnach et ses hoplexols.

Matériaux composant les hoplexols : 1 – Aérophyse, 2 – Nanophytion squamescent, 3 – Nanophytion aromescent, 4 – Nécro-nanophytion, 5 – Epilites, 6 – Phorophytion, 7 – Bromon, 8 – Dermilite, 9 – Rhizophytion, 10 – Calcinite, 11 – Nécru-rhizagé, 12 – Entaféro-brunichron, 13 – Alté-tassikérite, 14 – Tassikérite, (Termes définis par : Richard, Khan & Chatelin, 1977 ; Richard, 1989 ; Da Lage et Métailié, 2000 ; Rambaud & Waechter, 2001 ; Richard 2003). **Phases** et **stigmes** : formes particulières d'organisation (linéaire ou ponctuelle) des matériaux témoignant de leur apparition ou de leur disparition dans l'hoplexol et qui traduisent la dynamique « évolutive » de l'hoplexol.

Lorsque l'on observe le relevé présenté en figure 3.1, trois remarques concernant le milieu naturel peuvent être énoncées. Elles se situent à la base des grandes distinctions qui surviennent entre l'acropause et la catapause et induisent des processus de nature différente qui entrent dans le conditionnement du cycle de l'eau dans les paysages.

La première remarque qui peut être faite concerne l'*hétérogénéité* et l'*épaisseur* des hoplexols : le milieu naturel est, du moins en Tunisie, plus simple à ses extrémités. A mesure que l'on s'approche de la surface du sol, les hoplexols gagnent en complexité. Ainsi, les hoplexols *les plus hauts* ou *les plus profonds* comportent rarement plus de deux ou trois composantes alors qu'à proximité de la *surface du sol* il n'est pas rare de voir apparaître dix à quinze matériaux différents. C'est aussi à ce niveau que les témoins de la dynamique sont le plus présents, avec l'apparition fréquente de phases et de stigmes complexes dans ces hoplexols. A l'inverse de l'hétérogénéité, l'épaisseur du milieu augmente à mesure que l'on

s'éloigne de la surface du sol. Les hoplexols gagnent en épaisseur, le plus souvent suivant une échelle géométrique... dans les milieux les plus développés (dans le sens « les plus hauts et les plus profonds »), le rapport peut-être de 1 à 10000 entre la surface du sol et les extremums de la géosphère.

La seconde remarque qui peut être faite à la vue de cette figure est que la part d'air contenue dans le milieu naturel décroît régulièrement à mesure que l'on s'éloigne de l'acropause pour aller vers la catapause. Ce fait témoigne d'une fermeture « progressive » du milieu naturel, qui va bien entendu avoir des conséquences importantes sur les flux, qu'il s'agisse de flux d'eau ou d'énergie. La rupture la plus nette apparaît au niveau de l'hoplexol « h-1 » c'est-à-dire celui qui correspond, dans tous les cas, à la surface du *sol*. La part d'air y est souvent 10 fois moins importante que dans les hoplexols qui se situent juste au-dessus de celui-ci. Le changement est brutal, tellement brutal qu'il est aisé de comprendre, simplement en observant la géosphère, les implications que cet hoplexol va avoir sur les flux. En revanche, estimer dans quelle mesure ces flux seront favorisés ou bloqués est loin d'être une évidence. En effet la variabilité spatiale de la surface du *sol* est grande et la surface du *sol* et donc l'hoplexol subissent parfois des changements fréquents et radicaux. Le passage d'un troupeau, celui d'une charrue, la pluie, la température, la germination des graines au *printemps*, la chute des feuilles à l'*automne*... sont autant de facteurs auxquels la surface du *sol* est sensible et qui vont contribuer à la transformer, à l'ouvrir ou à la refermer, tout au long de l'année. C'est cette propriété de la surface du *sol* qui contribue à modifier de manière sensible le comportement des flux, hydriques notamment.

III.2.2 - Les différents « hoplexions ».

Enfin, la troisième remarque concerne les différences caractéristiques qui affectent les hoplexols selon leur position sur l'axe vertical de la géosphère. Dans certains cas, les différences sont infimes tant au niveau du volume des composantes qu'à celui de leur organisation. Ces changements infimes entraînent, comme cela est précisé dans le premier paragraphe, la différenciation des hoplexols de la géosphère. En revanche, parfois ces modifications sont radicales. Elles conduisent alors à un découpage du profil vertical en entités plus larges, définies comme étant des sous-ensembles du milieu naturel regroupés pour leur position, leur morphologie ou leur fonction et sont nommées **hoplexions** (Da Lage et Métaillé, 2000).

Les hoplexions regroupent donc des hoplexols de même nature qui témoignent d'un même type de composition et d'organisation se traduisant par des processus globalement similaires. Ils s'affichent au nombre de cinq lorsque le milieu est *complet* (tableau 3.1) : le **Supraplexion** tout d'abord (noté « S »), partie supérieure du milieu naturel, regroupe généralement les formes d'expansion et de conduction végétales ligneuses ; le **Métaplexion supérieur** (noté « U »), correspondant aux formes d'expansion végétales sous-ligneuses et herbacées ; le **Métaplexion strict** (noté « T »), caractérisé par la « surface du *sol* » ; le **Métaplexion inférieur** (noté « F »), rassemblant les structures pédologiques minérales et organo-minérales, ainsi que les systèmes racinaires ; et enfin l'**Infraplexion** (noté « I »), partie inférieure du milieu, regroupant les formations géologiques superficielles altérées ou non. Il semble important de noter que ces cinq sous-ensembles ne sont pas présents dans tous les milieux naturels du globe. En effet, en milieu aride ou semi-aride, mais aussi sous certains climats froids ou encore dans les milieux ruraux soumis à une forte pression anthropique (...) il n'est pas rare de voir disparaître les hoplexols du supraplexion... Dans les milieux les plus

extrêmes, les déserts chauds et froids par exemple, le milieu se résume parfois simplement au métaplexion strict et à l'infraplexion.

Tableau 3.1 : Les différents hoplexions et leurs caractéristiques (d'après Richard, 2001).

Supraplexion		S	Les " formations végétales ligneuses ", caractérisées par des formes d'expansion et de conduction végétales ligneuses.	Disposition des hoplexols selon l'horizontale (en "escalier" sur les pentes fortes).	Interception et redistribution des précipitations, évapotranspiration (pérenne)...
Métaplexion	Supérieur	U	Les " formations végétales herbacées ", caractérisées par des formes d'expansion végétales herbacées (ou "sous-ligneuses")	Disposition des hoplexols parallèle à la surface du sol	Interception et redistribution des précipitations, évapotranspiration (surtout saisonnière)...
	Strict	T	La " surface du sol ", caractérisée par de nombreuses formes d'accumulation minérales et organiques	Disposition des hoplexols liée au micro-relief	Partition, ruissellement et infiltration, évaporation...
	Inférieur	F	les " sols ", caractérisés par des formes d'agrégation organo-minérale ou minérale ("structures pédologiques")	Disposition des hoplexols parallèle à la surface du sol	Drainage superficiel (rapide), écoulements hypodermiques (drainage "oblique")...
Infraplexion		I	Les " formations (géologiques) superficielles ", caractérisées par des formes d'altération des roches et/ou par des formes de concentration minérales (localement "hydromorphes").	Disposition des hoplexols selon l'horizontale ou liée au relief (conforme / discordant)	Drainage profond, lent, saturations durables (saisonnières ou permanentes), alimentation des nappes phréatiques...

Ce tableau représente les cinq sous-ensembles généralement présents dans le milieu naturel (du moins lorsque celui-ci est complet) ainsi que les composants les plus représentatifs, les structures les plus fréquentes et les principales interventions sur le cycle de l'eau (même si celles-ci seront abordées plus en détail ultérieurement).

La désignation de l'appartenance d'un hoplexol à un hoplexion se fait dès le terrain, lors des relevés et de leur différenciation, mais c'est véritablement au cours des analyses statistiques réalisées ultérieurement qu'ils prennent tous leur sens et permettent de déterminer des types d'organisations du milieu, synthétisés dans des systèmes visant à expliquer leur rôle dans le cheminement de l'eau dans le milieu.

Le profil vertical tel qu'il vient d'être présenté ne correspond qu'à un état ponctuel et instantané du milieu naturel. Le **Relevé du Milieu** (ensemble de composantes et d'hoplexols en un point donné de la géosphère) est à ce titre un « objet » sans dimension spatiale et temporelle. Or, la géosphère change en permanence à la fois dans le temps et dans l'espace et

il est impératif d'appréhender ces changements pour comprendre son organisation et expliquer son fonctionnement. En cela le relevé du milieu et la **Toposéquence** (succession de relevés le long d'un transect établi généralement entre une ligne de faite et un thalweg) sont les outils nécessaires pour analyser précisément et objectivement le milieu. Ce sont les points d'entrée nécessaires de l'analyse qui permettent, par extrapolation, de définir les extensions latérales et temporelles d'un profil particulier de la géosphère.

III.3 - LES EXTENSIONS LATÉRALES DES PROFILS DE LA GEOSPHERE.

Si l'on considère justement les extensions latérales de la géosphère, trois échelles emboîtées apparaissent. Ainsi, du niveau élémentaire au niveau général, le milieu naturel s'organise en trois entités remarquables : les *géons* (et les géotopes), les *segments de paysages* et les *paysages*. Ce paragraphe présente donc ces trois entités spatiales. Une attention plus particulière est portée à la notion de segment de paysage (entraînant par la même occasion un déséquilibre dans les parties) car elle correspond à la notion de base utile pour caractériser les chemins de l'eau dans le milieu naturel et simuler les flux (hydriques et érosifs) qu'ils induisent.

III.3.1 - Les « géons » et les « géotopes ».

Si l'on considère tout d'abord l'extension latérale d'un profil particulier de la géosphère, et à condition que ce profil soit complet, alors deux sortes de changements latéraux, relatifs à l'organisation des hoplexols, peuvent intervenir. Si les hoplexols appartenant aux hoplexions S ou I changent, l'unité spatiale délimitée correspondra à un **Géon**. En revanche, si seuls les hoplexols appartenant aux hoplexions U, T et F changent, alors l'unité spatiale définie correspond à un **Géotope**.

En règle générale, les géotopes sont des éléments constitutifs des géons, si bien que leur extension maximale ne pourra en aucun cas excéder celle du géon auquel ils appartiennent. Hormis cette règle élémentaire, il n'y a pas de loi particulière régissant les géotopes à l'intérieur des géons. Soit un géotope occupe la totalité d'un géon, soit ils sont plusieurs à se partager cet espace. Certains géotopes peuvent apparaître comme un *accident* dans un géon (un sentier, une rigole...) ou comme des formes récurrentes en alternance (billion / inter-billion dans un champ, marches d'escalier sur une alternance marnes / calcaires...). Ainsi, un géon correspond à un ou quelques relevés de milieu et définit ainsi « **l'Unité Paysagique Élémentaire** » (Richard, 1989). Les unités telles que les géons et les géotopes ne peuvent être définies objectivement qu'après un travail de terrain nécessaire pour les caractériser mais la représentation que l'on en donne est issue de la réduction informationnelle inhérente aux traitements statistiques réalisés sur les relevés du milieu (Rougerie & Beroutchachvili, 1991). Le géon est en ce sens plus souvent une abstraction, une moyenne des observations. Il est donc *impossible*, après traitement, de retrouver sur le terrain les hoplexols et hoplexions exacts qui figurent dans la réalité au niveau d'un géon donné mais le profil moyen auquel il renvoie tient compte de ses spécificités les plus évidentes (figure 3.2).

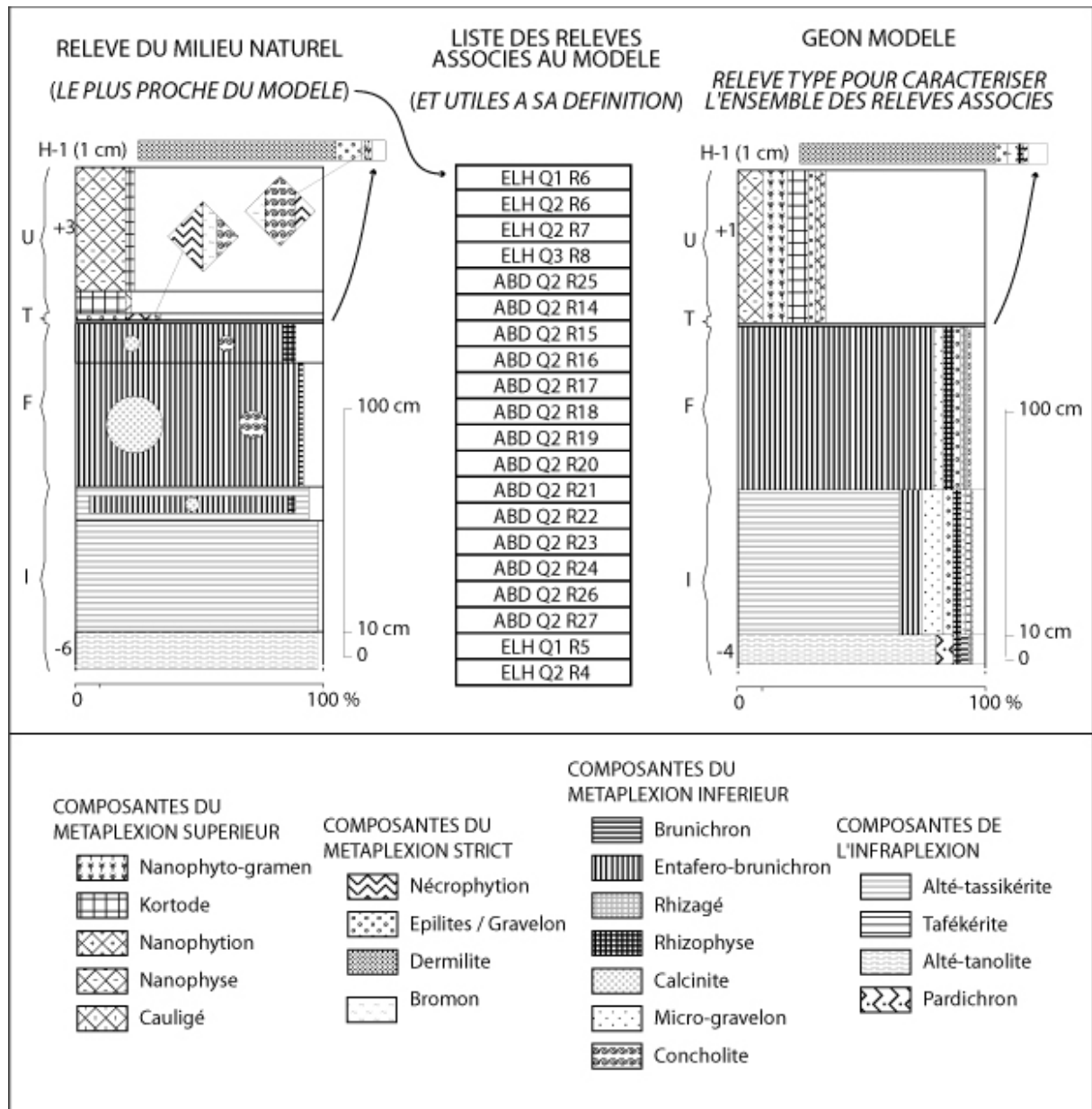


Figure 3.2 : Du relevé de milieu au modèle de succession verticale.

La recherche de limites spatiales du géon se fait là encore sur le terrain. Certaines sont nettes et franches lorsque le milieu est très contrasté (passage d'un relief de commandement calcaire à un glacis sur marnes...) mais dans la plupart des cas il est nécessaire d'avoir recours à un suivi (à la tarière) pour voir comment et à quel moment se fait le changement entre deux relevés distincts et par là même fixer la limite entre les deux géons.

La définition proposée ci-dessus est volontairement réduite à un seul des deux éléments qui caractérisent le géon d'un point de vue théorique : l'espace. Mais le géon n'est pas un simple état figé du milieu naturel. Il change et évolue au fil des jours, mois, saisons et années, souvent de manière cyclique et répétitive qu'il est alors possible de *prédéterminer*.

Le relevé de milieu présenté ici ne permet malheureusement que de traiter de l'état du géon au temps T qui correspond à la date où il est réalisé. Il n'est donc pas permis, à partir de cette méthode, de déterminer les cycles qui le caractérisent. Seules les dynamiques sur le long et le très long terme sont transcrites, par l'intermédiaire du vocabulaire de l'ATM, puisqu'elles

renvoient plus à des structures visibles et inscrites dans le paysage qu'à des changements rapides et brutaux. Une idée de la manière dont les géons changent au fil du temps peut tout au plus être proposée dans le cadre de cette approche. Tout le monde sait bien en voyant un champ qui vient juste d'être semé que quelques mois plus tard le blé ou l'orge mis en place aura poussé. Mais tirer des conclusions plus complètes que celle-ci est bien entendu irréalisable tant le milieu peut réserver des surprises quant à son *évolution*. De ce fait, la mesure des changements dans le temps des géons ne peut se faire que par leur suivi au cours d'une ou plusieurs années. Devant le travail de terrain supplémentaire que cela impose, ce suivi n'a pas été réalisé directement dans le cadre de cette thèse. En revanche, le programme de collecte de données mis en place par Jean-François Richard et plus précisément les travaux réalisés par Faïza Allouch-Khébour dans le cadre de sa thèse (encore inédite... puisque réalisée en parallèle à celle-ci) offre la possibilité d'associer aux géons répertoriés le suivi de leurs changements dans le temps.

Les géons assurent ainsi la définition d'un contenu mésologique (Rougerie & Beroutchachvili, 1991) associé à une extension spatiale. Mais, si cette unité paysagère élémentaire est nécessaire à la compréhension du milieu naturel, elle n'est pas celle qui prime ici car elle n'est pas associée aux contraintes topographiques qui entrent nécessairement dans l'analyse des flux d'eau qui circulent dans le paysage. Il convient donc de s'intéresser à une maille de taille plus conséquente, inscrite en premier lieu dans le cadre topographique : le *segment de paysage*.

III.3.2 - Les « segments de Paysage ».

La seconde maille paysagère à considérer est le *Segment de paysage*. C'est cette maille qui intéresse particulièrement cette étude. Les segments de paysage sont des unités qui s'inscrivent généralement entre deux ruptures de pente. Leur caractérisation ne se limite cependant pas à cette seule contrainte topographique : elle fait aussi intervenir l'inclinaison et la longueur de sa pente, la forme de son « enveloppe », sa position relative dans le versant ou dans le *Paysage*. Mais la définition finale du segment de paysage doit aussi faire référence à son « contenu » et à ses dynamiques. De ce fait la définition du segment de paysage doit aussi tenir compte de la fréquence et du mode d'association des géons, des dynamiques hydriques, érosives... En cela, le segment de paysage apparaît comme l'unité la plus appropriée pour discrétiser un espace tout en tenant compte de l'ensemble de ses caractéristiques.

III.3.2.1 - Des « facettes topographiques » aux « segments de paysage » : influences et apports externes à l'ATM.

L'idée d'un découpage du milieu naturel commun à plusieurs disciplines scientifiques apparaît au cours des années 1970 et vient s'opposer aux notions « d'études intégrées », utilisées depuis les années 1940. Ces études, qui se voulaient multidisciplinaires, proposaient des résultats dans lesquels chaque discipline donnait son propre découpage du milieu naturel, sans aucun lien avec les autres. Il en sortait essentiellement des cartes superposant différentes visions de la nature mais sans élément réellement intégrateur. Avec les années 1970, alors qu'émerge l'ATM, Filleron (1978) propose l'idée d'un découpage de l'espace précis et synthétique qui s'oppose notamment au vocabulaire topographique et géomorphologique en vogue à l'époque. Ainsi apparaissent deux notions : la *facette topographique*, définie comme une portion d'espace isomorphe limitée par des ruptures de pente, et le *versant* qui est une

suite ordonnée de facettes topographiques entre une ligne de faîte et un thalweg (Filleron, 1978).

Le modèle créé à l'époque identifie quatre principaux types de facettes (« orthotypes ») décrites essentiellement par leur position sur le versant et les formes observées et auxquelles sont appliquées les règles du partage sémantique et de la combinaison langagière (Richard, Khan & Chatelin, 1977 ; Beaudou & *al.* 1978 ; Richard, 1989). Ces quatre « orthotypes » (identifiés par des noms) n'étant pas toujours réalisés tels qu'ils sont décrits sont complétés par des *intergrades* (identifiés par des préfixes permettant de préciser la position dans le versant, par rapport aux autres facettes) et des *diagnostics secondaires* (définissant la forme et la classe de pente). Cette méthode permet là encore la possibilité d'identifier un grand nombre de facettes (et de versants). Il est important de noter que le modèle à quatre « facettes topographiques » sera complété et amélioré par la suite pour donner le modèle à sept « segments de paysage » utilisé aujourd'hui. Cette approche et cette nouvelle manière d'appréhender l'espace apporte un cadre morphologique, comparable à une *enveloppe*, pour l'analyse du milieu naturel. En revanche, elle n'apporte pas ou peu d'informations sur le *contenu*, l'organisation et les dynamiques internes et globales du milieu naturel. Le modèle des segments de paysage va donc se construire au fil du temps en s'inspirant d'influences externes à l'ATM et intégrant peu à peu les éléments qui le constituent désormais. Parmi ces apports il est possible d'en citer quatre qui traduisent encore aujourd'hui relativement bien tout ce qui entre dans le segment de paysage.

L'idée du *contenu* de l'enveloppe topographique apparaît assez tôt. Elle s'inspire notamment des travaux de Dalrymple, Blong & Conacher (1968) et Conacher & Dalrymple (1977) qui proposent un modèle de découpage d'une « caténa » (notion équivalente à celle de « versant » chez Filleron et à celle de « toposéquence » des pédologues français) basé sur les relations entre pente et sols. Leur modèle s'applique pour un espace situé entre une ligne de crête et une vallée, ainsi qu'entre la surface du sol et le début de la roche mère. Wysocki, Schoeneberger & LaGarry (2000) précisent qu'ils segmentent le versant en neuf unités suivant la topographie (inclinaison et longueur de pente), la morphologie des sols et les processus qui conduisent au détachement, au transport et au dépôt des sédiments (ruissellement et mouvements de masse). Leur modèle complète donc les idées de Filleron. Bien qu'étant moins complets sur la morphologie des unités décrites, ils précisent les bases qui à terme permettent de découper l'espace non seulement en fonction de ses formes topographiques mais aussi en fonction de ce qu'il est possible d'y observer au niveau des sols et des processus érosifs. Leur modèle se limite cependant aux sols et ne tient compte ni de la végétation, ni des aspects anthropiques, ni des interactions qui les lient. Enfin, même s'ils s'intéressent aux processus érosifs, ils ne tiennent pas compte réellement des flux hydriques ou énergétiques qui y circulent.

Le côté dynamique des segments de paysage fait plus référence aux travaux de Cappus (1960) et de sa "description du ruissellement" qui conduit peu à peu à l'idée d'un découpage de l'espace en fonction des éléments qui conditionnent les flux qui y circulent. L'auteur explique que le ruissellement sur un bassin versant correspond à la totalité de la pluie tombant sur une surface imperméable ou saturée dite « zone de ruissellement », dont l'étendue varie avec le niveau moyen de la nappe phréatique. Le reste du bassin versant intervient dans le ruissellement uniquement lors d'évènements pluvieux rares. Cette nouvelle théorie du ruissellement s'oppose donc à la traditionnelle relation intensité de pluie / capacité d'infiltration utilisée généralement pour *expliquer* le ruissellement. Le bassin versant n'est plus considéré comme un espace réagissant de manière uniforme à un phénomène, mais comme une entité organisée spatialement dont les différents secteurs ne contribuent pas forcément (ou contribuent différemment) à un flux donné. Reprenant ces travaux, Ambroise

(1998) propose de découper l'espace en secteurs déterminés par les processus et les flux qui s'y déroulent. Il introduit, en premier lieu, le concept de « Zone Active Variable pour un processus donné » (ZAV) pour caractériser les zones d'extension variable au cours du temps (à l'échelle de l'année et/ou de l'événement), où ce processus est actif. L'auteur précise que ces portions d'espace produisent localement des flux. Il est important de noter que les flux issus des ZAV ne contribuent pas nécessairement au « flux global » observé aux limites du bassin versant (exutoire dans le cas du ruissellement...) ; celui-ci dépend essentiellement de la position relative des ZAV dans le bassin versant (Cappus, 1960 ; Ambroise, 1998). En second, mais découlant directement de l'idée de ZAV, le concept de « Zone Contributive Variable » (ZCV) est établi (Hewlett, 1961 ; Betson, 1964 ; Ambroise, 1995 ; 1998). Les ZCV correspondent cette fois aux surfaces qui contribuent au flux global mesuré aux limites du bassin versant. Leur superficie peut aussi varier au cours du temps (échelle de l'année et/ou de l'événement) et les ZCV sont au plus égales, pour un flux donné, à la somme des zones actives où les processus sont susceptibles de générer ce flux (Ambroise, 1998). L'apport de ces notions est considérable car elles impliquent de ne pas s'intéresser uniquement aux facteurs mis en cause dans un phénomène (intensité de la pluie / capacité d'infiltration en ce qui concerne le ruissellement), mais de prendre en compte ces processus dans les organisations spatiales (latérales et verticales) du milieu étudié. Elles permettent ainsi un découpage fonctionnel de l'espace, qui ne se limite plus seulement à une « enveloppe » et à un « contenu », mais qui intègre les interactions entre les différents éléments physiques qui le composent. En ce sens, le segment de paysage est à rapprocher du *géofaciès* défini, dans le cadre de la science du paysage soviétique, comme étant "une unité différenciée latéralement de ses voisines par des changements qui se manifestent tant dans la composition des masses et des énergies qu'elles présentent que dans leur intensité ou dans leurs rapports" (Da Lage & Métaillé, 2000).

Jusqu'à présent, les auteurs cités et les notions qu'ils développent ne s'intéressent qu'au milieu physique et délaissent l'aspect humain. Les découpages qu'ils proposent se limitent aux caractéristiques imposées par le milieu naturel (limites, contenus, organisations et dynamiques). Or ces espaces sont très souvent occupés par des groupes humains. Ceci conduit à la notion de « facette écologique » définie comme « une unité spatiale de combinaison des données écologiques et des données d'utilisation » (Blanc-Pamard, 1986). Ce concept s'apparente à l'idée de « facettes » (Sautter, 1983) qui fixent les cadres spatiaux pour l'analyse des interactions entre la nature et l'homme ou encore à celle de « facettes de paysage » caractérisées par « la surimposition de faits humains et physiques » (Marchal, 1983). Une facette écologique se définit comme un ensemble « homogène » sur le plan du milieu (topographie, sols, comportement hydrique...) et/ou sur le plan des données d'utilisation (espace cultivé, parcours...). L'identification de ces facettes écologiques passe par l'analyse méthodique du milieu, le long d'un transect amont/aval, afin de repérer les changements topographiques et pédologiques, les discontinuités dans la végétation... Cet « espace écologique » est ensuite couplé à l'« espace pratiqué », dans le but de compléter et d'affiner, par une connaissance « de l'intérieur », l'approche scientifique qui est extérieure au milieu étudié (Blanc-Pamard, 1986). La confrontation des deux représentations du milieu permet, au final, un découpage plus fin et plus complet que celui des deux visions (scientifique et paysanne) séparées. Enfin, il est important de noter que l'analyse du milieu perçue par les populations locales s'appuie souvent intuitivement sur la connaissance des flux dans le milieu naturel, notamment des flux hydriques. Les populations paysannes qui pratiquent l'espace connaissent l'importance de ces flux et s'organisent en fonction d'eux, définissant ainsi une perception dynamique du milieu (Bougères, 1976).

Les notions exposées précédemment sont complémentaires car elles étudient le même objet mais l'abordent sous des angles différents. Cet objet existe dans l'espace et il se caractérise à la fois par ses limites, son organisation interne, son organisation par rapport aux objets de même ordre qui lui sont limitrophes, ainsi que par ses relations avec l'homme. Elaborée au fil des apports dont elle a bénéficié, la notion de facette topographique s'est progressivement enrichie pour aboutir à celle de *segment de paysage*. Il s'agit maintenant de définir plus précisément cette notion et de présenter le modèle auquel elle a donné lieu.

III.3.2.2 - Le modèle à sept segments de paysages.

Filleron (1995) définit un segment de paysage comme une "facette topographique isomorphe à laquelle est associée un contenu mésologique". En d'autres termes, cela signifie qu'un segment de paysage est une entité spatiale *visible* et *identifiable* sur le terrain, de taille et de nature variable en fonction du milieu dans lequel elle s'inscrit, généralement limitée à l'amont et à l'aval par des inflexions de pentes et possédant une organisation interne et des propriétés dynamiques propres qui le distinguent des autres segments de ce paysage.

Partant de cette définition, il est possible de donner les différents éléments utiles à la diagnose et à la différenciation de ces unités et de montrer comment ces éléments sont liés entre eux dans le segment. La figure 3.3 tente ainsi, par l'intermédiaire d'un diagramme, de disséquer la définition donnée par Filleron et de résumer ce qui entre en compte dans la différenciation de chacune de ses parties.

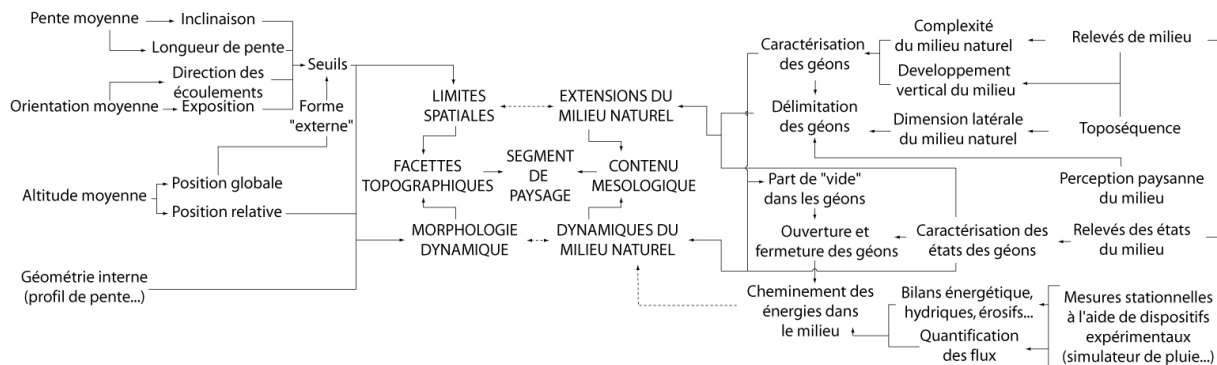


Figure 3.3 : Éléments utiles à la diagnose des segments de paysage.

(Source : Morschel, Fox & Richard, 2006).

La diagnose du segment de paysage renvoie d'une part à la géométrie et à la position globale du segment (à gauche sur la figure) qui permet de fixer les cadres de l'enveloppe et d'identifier (au moins pour partie) les caractéristiques dynamiques auxquelles les formes internes développées entre ces limites font référence. D'autre part, elle fait aussi appel aux questions d'organisation et de dynamique du milieu naturel (à droite sur la figure) en fonction du développement et de la complexité des géons qui entrent dans sa composition. Tel que présenté dans cette définition (et sur la figure 3.2), le segment de paysage apparaît comme l'élément clé de l'étude de la géosphère dès lors que l'on cherche à intégrer l'ensemble de ses composantes dans l'analyse. Se limiter aux seules caractéristiques topographiques et aux dynamiques auxquelles elles renvoient ne permettrait pas d'intégrer l'organisation du milieu naturel dont l'étude est pourtant capitale pour comprendre et expliquer le cheminement précis

des flux dans le milieu selon l'axe vertical. Inversement, ne tenir compte que de la répartition des géons équivaldrait à faire fi des contraintes liées au modelé du relief et limiterait ainsi la définition de la dynamique globale du milieu qu'elles imposent sur un axe latéral. Tous ces éléments contribuent à écrire le paysage et sont à un tel niveau d'interaction que les conclusions tirées d'une étude unique de l'une ou l'autre de ces parties ne permettraient que des constatations partielles et aucunement explicatives du fonctionnement d'ensemble du milieu naturel.

C'est d'ailleurs en se basant sur ces considérations que le modèle des segments de paysage est établi par Filleron (1995). Chaque segment correspond à une enceinte qui se différencie des autres en fonction de sa forme, de sa position sur le versant et de processus dépendant de ses caractéristiques organisationnelles, qui s'opèrent en son sein et dont l'ensemble traduit d'une dynamique particulière dans le milieu naturel.

Construit suivant ce principe, le tableau 3.2 présente les sept orthotypes (première colonne) du modèle original adapté au monde méditerranéen (Rambaud et Waechter, 2001 ; Richard, 2001) ainsi que les caractéristiques topographiques (deuxième colonne) et mésologiques (troisième colonne) qui permettent de les différencier. Au final, la diagnose du segment nécessite de définir la dynamique dans laquelle il s'inscrit (dernière colonne) et qui s'interprète à partir des observations et des traitements issus de l'analyse conjointe des deux éléments cités précédemment.

Précisons toutefois que ce modèle n'est pas limitatif. En effet, sept diagnostics ne permettent pas de caractériser à eux seuls l'ensemble des segments de paysage du globe. Ainsi, les règles du partage sémantique et de la combinaison langagière s'appliquent aussi. Elles permettent ainsi de différencier et de diagnostiquer facilement un très grand nombre de segments en apportant des nuances et des précisions par rapport au modèle original. Allant dans ce sens, Rambaud & Waechter (2001) *prédéfinissent* quelques diagnostics supplémentaires pour aider à la caractérisation des segments de paysage dans le monde méditerranéen.

Dans le cas des segments de paysage, les éléments nécessaires à la caractérisation sont tirés du terrain, tant au niveau de la délimitation des enveloppes topographiques qu'au niveau du contenu mésologique auxquels ils renvoient. Mais le diagnostic final ne peut-être envisagé (là encore) qu'après traitements statistiques des données. A ce titre, les segments de paysage, tout comme les géons, font preuve d'abstraction si bien qu'il n'est pas possible de retrouver précisément sur le terrain les organisations indiquées dans leur représentation. Les segments de paysage sont donc plus des modèles d'*organisation moyenne* du milieu naturel que des organisations réelles observables sur le terrain, même si ces dernières y font directement référence. C'est d'ailleurs ce qui rend possible l'extrapolation de quelques points de mesure le long de toposéquences représentatives à l'ensemble d'un milieu donné. Sans ce niveau d'abstraction atteint par traitement statistique, il serait nécessaire de multiplier les observations de la géosphère, ce qui limiterait nécessairement le nombre de paysages qu'il est possible d'étudier.

Tableau 3.2 : Le modèle à sept segments de paysage adapté au monde méditerranéen.
(D'après les travaux de Filleron, 1995 et de Rambaud et Waechter, 2001. In. Richard, 2001).

Orthotype	Système de pente exemples	Principales organisations Géons (et Géotopes)	Bilans de l'eau et de la matière Potentiels dynamiques
Acroèdre	Pentes convexes divergentes : <i>sommets rocheux isolés</i>	Structures en mosaïques souvent très diversifiées et très contrastées	Erosif à très érosif
Supraèdre	Pentes subaplanies faibles ou très faibles : <i>sommet de buttes, de "croupes"...</i>	Structures centrales uniformes ou en marqueteries ("par plaques") <i>Nombreux héritages</i> Structures périphériques en auréoles	Autonome (à faiblement érosif vers les bordures)
Ectaèdre	Pentes convexo-concaves étroites fortes à très fortes : <i>"pentes de raccord", corniches...</i>	Différenciations latérales en "chevrons" triangulaires : - rentrant : <i>complexes / développés</i> , - saillants : <i>simples / peu développés</i> .	Erosif (en surface)
Métaèdre	Pentes subrectilignes élargies faibles à fortes : <i>sections de "versants", de "glacis"...</i>	Structures en "écailles" <i>Géons de plus en plus développés et complexes vers l'aval.</i>	Trans-érosif puis trans- accumulatif
Cataèdre	Pentes fortes (en réseau arborescent) : <i>"entailles", ravins...</i>	Structures homogènes <i>Géons très peu développés / très simples</i>	Erosif à très érosif
Infraèdre	Pentes très faibles à nulles (en réseau arborescent) : <i>"bas-fonds", lits majeurs...</i>	Structures en franges souvent très diversifiées et très contrastées	Accumulatif
Endoèdre	Pentes convergentes très faibles à nulles : <i>cuvettes endoréiques...</i>	Structures en auréoles souvent très diversifiées et très contrastées	Fortement accumulatif

Les segments de paysage renvoient donc à l'ensemble des notions présentées jusqu'ici et qui de par leur organisation traduisent des dynamiques du milieu naturel. Ils représentent un niveau de synthèse fort intéressant pour comprendre ce qui se produit dans le milieu naturel en confrontant à la fois les dynamiques imputables aux formes topographiques et celles inhérentes aux organisations verticales de la géosphère. Ainsi, c'est à partir de l'analyse et de la définition des segments de paysage qu'il est possible d'appréhender les organisations les plus vastes de la géosphère : les *paysages*.

III.3.3 - Les « paysages ».

Enfin, les organisations les plus vastes et les plus complexes que l'on est amené à concevoir sont les **Paysages**. Le paysage une *séquence* du milieu naturel qui se répète toujours à l'identique, dans ses organisations latérales et verticales, dans ses transitions, dans ses dynamiques. Ils sont ainsi considérés comme une succession de segments paysagiques, ordonnés depuis une ligne de faite jusqu'à un thalweg, qui se répète à l'identique d'un interfluve à l'autre (Richard, 1989). La notion de paysage regroupe ainsi toutes les notions exposées jusqu'à maintenant, depuis la composante du milieu naturel jusqu'au segment de paysage, caractéristique d'une organisation particulière se différenciant sur les axes verticaux et latéraux du milieu naturel (figure 3.4).

PREMIERE PARTIE

CONCLUSION

Au travers de cette première partie, les cadres administratifs qui ont autorisé la réalisation du travail et permis l'accès aux paysages que nous allons parcourir par la suite y sont présentés. Elle est également utile à la justification des choix réalisés en matière de paysage analysé : son intégration dans l'UR AMBRE puis dans l'UMR LISAH a permis le financement des campagnes de terrain, l'accès à de nombreuses données automatiques ainsi que l'ouverture des trois bassins versants que nous cherchons à analyser dans la suite du rapport.

Mais c'est surtout pour présenter les contextes épistémologiques, théoriques et scientifiques dans lesquels nous nous inscrivons que cette première partie fut rédigée. En effet, l'analyse du milieu naturel telle qu'elle est entendue dans cette étude repose sur des règles définies dans le cadre très particulier de l'Analyse Transdisciplinaire du Milieu (ATM). A ce titre, elle s'appuie sur un vocabulaire original, méconnu des Géographes français, qui permet une identification rapide, précise et exhaustive des composantes du milieu naturel. Outre la définition de termes nouveaux, l'ATM propose tout un jeu de règles pour la caractérisation des organisations de la géosphère. Il est ainsi possible de comprendre ses agencements à toutes les échelles d'analyse : du niveau le plus élémentaire à la caractérisation globale de la nature, ces règles facilitent l'analyse tout en permettant de conserver le maximum de précision quant à l'organisation des paysages. Les modèles qui en résultent, établis sur des unités spatiales, nommées "segments de paysages", intégratives des successions verticales et des agencements latéraux du milieu, peuvent être considérés comme des systèmes autorisant la lecture et la définition des flux qui y circulent.

C'est à partir des méthodes, présentées ici d'un point de vue théorique, que toutes les analyses sur lesquelles s'appuie cette thèse sont réalisées. Celles-ci étant désormais présentées d'un point de vue théorique, il est possible de passer à l'étape supérieure : l'analyse des trois paysages présentés de manière très succincte dans le premier chapitre de cet ouvrage.

DEUXIEME PARTIE

INTRODUCTION

Cette deuxième partie vise à analyser de façon méthodique les paysages retenus. Il s'agit de déterminer pour les bassins versants de Kamech, d'El Hnach et d'Abdeladim, les structures verticales et latérales qui les caractérisent et ce dans le but d'étudier, d'une part, leurs organisations respectives et, d'autre part, le cheminement des flux hydriques qui s'y produisent. C'est grâce à la notion de segment de paysages, que cet objectif peut-être atteint. Comme cela est sous-entendu dans la définition de cette notion, l'établissement des segments de paysages et par là même l'élaboration des modèles d'organisation qu'ils représentent, réclame une double opération. D'une part, il est nécessaire de mettre en évidence les cadres topographiques utiles à leurs délimitations spatiales et d'autre part il faut déterminer leurs contenus c'est-à-dire les différentes structures verticales (et leurs extensions latérales) qui permettent leurs déterminations organisationnelles et dynamiques. En d'autres termes, cela revient à matérialiser les facettes topographiques puis à leur attribuer un contenu mésologique.

La mise en œuvre de ce type de modèle nécessite un niveau de synthèse suffisant pour être pertinent et véritablement explicatif : les huit mois effectifs passés sur le terrain ont permis d'amasser une quantité de données très importante sur les organisations élémentaires de la géosphère. Il est de ce fait impératif de résumer ces observations de terrain pour obtenir un niveau d'abstraction tel que seuls les éléments essentiels restent. Toutefois, il est également important de conserver suffisamment de détails pour que les unités définies conservent leur caractère propre et ne tombent pas dans la banalité. Il s'agit donc de mettre en œuvre toute une série de traitements statistiques dont le but est la réalisation de cette synthèse.

L'objectif de cette seconde partie est de nous amener progressivement au cœur des paysages étudiés et de montrer l'ensemble des étapes utiles à la différenciation des unités qui les caractérisent. Elle présente ainsi au travers de trois chapitres, les données collectées, les traitements qu'elles permettent ainsi que les résultats (partiels) établis en vue de cartographier les segments de paysages et de « modéliser » les paysages concernés. De cette manière, le chapitre IV est rédigé dans le but de caractériser les types de facettes topographiques que l'on rencontre dans nos trois bassins versants. Il présente à la fois les données, les traitements et les résultats obtenus. Il fixe ainsi, d'une certaine manière, les cadres spatiaux des segments de paysages. Les deux chapitres suivants (V et VI) visent alors à définir leurs contenus mésologiques : ils correspondent respectivement à la typologie des hoplexols puis à la typologie des géons de la géosphère. Là encore, chaque étape présente les données nécessaires, les traitements réalisés et les résultats proposés. Notons toutefois que si à la fin de cette partie il est possible d'avoir une vision globale des paysages et de leurs dynamiques, les modèles définis et les interprétations finales des organisations spatiales et de leurs dynamiques hydriques n'y sont pas encore présentés : ils apparaissent à la fin de l'étude et figurent à ce titre dans la troisième partie du rapport.

Avant d'entrer dans le vif du sujet il faut encore préciser que les analyses statistiques présentées dans les pages qui suivent, du moins celles relatives aux organisations verticales du milieu naturel, réalisent des traitements conjoints des données recueillies sur les trois paysages. Cela est nécessaire à des fins de rapprochement et de comparaison. C'est donc les trois paysages brièvement présentés dans le premier chapitre qui prennent part à cette analyse

et tous les résultats formulés dans cette partie y font donc référence. Compte tenu de ce fait, il apparaît comme normal qu'à la fin du rapport, la cartographie des segments de paysages soit également réalisée pour chacun des trois bassins versants. Malheureusement dans le temps qui nous est imparti, seul le paysage de Kamech sera traité en totalité, c'est-à-dire jusqu'à la différenciation des segments de paysages et l'analyse des comportements hydrodynamiques. Celui-ci est choisi pour trois raisons :

- Tout d'abord c'est le seul espace pour lequel toutes les toposéquences sont représentées graphiquement. Vu le temps disponible et devant l'ampleur de la tâche à réaliser pour achever ces représentations graphiques sur les deux autres paysages, nous sommes dans l'impossibilité de formuler la totalité des modèles.
- Ensuite le paysage de Kamech est celui où les flux d'eau sont les plus visibles et pour cause... c'est le seul où cette eau se trouve en quantité suffisante pour pouvoir être visualisée sur le terrain. En outre, les processus de transformation de la matière auxquels ils conduisent sont fort intéressants à analyser d'un point de vue spatial car ils mettent en avant des éléments importants à la compréhension des circulations d'eau dans le milieu naturel.
- Enfin c'est le plus étudié par les hydrologues et les pédologues du LISAH. De ce fait de nombreuses données issues de dispositifs variés sont disponibles sur cet espace. Ces données pourront, dès que cela sera possible, être utilisées à des fins de validation des systèmes établis. En outre, plusieurs personnes travaillent actuellement pour tenter d'estimer ses flux à partir de modèles de simulation semi-distribués... Elles pourront peut-être envisager de s'appuyer sur nos résultats pour paramétrer leurs modèles et orienter leurs réflexions.

Il apparaît clairement que de ne pas formuler les modèles finaux sur les trois paysages présentés dans cette thèse et sur lesquels s'appuient l'ensemble des traitements nous laisse un peu sur notre faim et provoque un certain déséquilibre dans cet ouvrage. Mais cela est nécessaire pour pouvoir espérer terminer dans les temps.

L'*orientation* donnée au paysage et à son analyse ne résulte pas d'un choix fortuit : le paysage s'étudie ici dans le *sens de l'eau*, c'est-à-dire de l'amont vers l'aval, car les principales dynamiques qui conduisent à son organisation (et réciproquement) suivent cette orientation. En ce sens, le paysage s'apparente au *géosystème* (modèle spatio-temporel, reposant sur une interconnexion par échange de matière et d'énergie entre substrat, sol, eau, masses d'air et communauté d'êtres vivants, hommes compris - Da Lage et Métaillé, 2000) de la science du paysage soviétique, même si cette notion est beaucoup plus riche du fait du nombre d'éléments et de processus qui entrent théoriquement dans sa définition (Rougerie et Beroutchachvili, 1991).

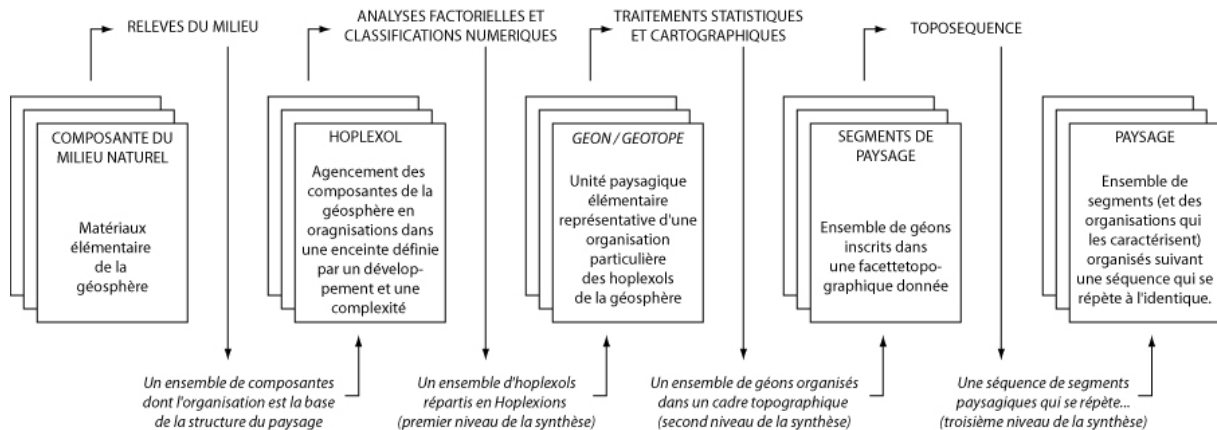


Figure 3.4 : La synthèse paysagère du matériau au paysage.

L'analyse du paysage se fait donc dans le sens de l'écoulement de l'eau, en abordant les différents milieux que sa dynamique (et la dynamique érosive qui lui est étroitement liée) met en place. Cependant, de par sa nature "englobante" le paysage impose une multiplicité de combinaisons et la complexité induite par cette multitude rend impossible, en l'état actuel des connaissances, la création d'un modèle d'ensemble comme il en existe pour les segments par exemple (Richard, 2001). Ainsi, chaque paysage est considéré comme un système unique, ce qui rend difficile, voire impossible, la conceptualisation (Bertrand, 1978a.. *In*. Rougerie & Beroutchachvili, 1991) et par conséquent la comparaison directe de paysages entre eux. Ceci est en outre traduit par le fait qu'aucun langage issu de l'ATM n'est proposé à ce jour pour définir les types de paysages qui existeraient à l'échelle du globe ou tout du moins de ses régions.

Quoi qu'il en soit, il est tout de même possible, après l'analyse fine d'un paysage donné, d'élever ce dernier au rang de modèle. Le travail doit être d'ailleurs réalisé dans ce sens : comprendre comment le milieu s'organise selon la verticale et l'horizontale depuis l'élément jusqu'à la structure d'ensemble qui regroupe les différents éléments et dont l'arrangement définit le paysage. C'est dans ce sens que s'oriente cette thèse : caractériser les segments de paysages au travers de l'analyse de différentes séquences paysagiques puis formaliser les successions définies dans un (des) modèle(s) spatial(aux) afin de déterminer et de comparer les organisations les dynamiques présentes sur les paysages de Kamech, d'El Hnach et d'Abdeladim et les rapports qu'ils entretiennent dans le cadre du cycle de l'eau.

CONCLUSION

Ce troisième chapitre fixe donc les cadres de l'analyse du milieu naturel et des paysages tels qu'ils sont présentés par l'ATM. Depuis l'hoplexol, niveau le plus élémentaire de l'analyse, jusqu'au paysage, niveau le plus global que nous sommes amenés à considérer, le suivi de ces règles permet de caractériser et de comprendre les agencements verticaux puis latéraux du milieu naturel. En d'autres termes cela est utile à l'explication précise et complète de l'organisation de la géosphère et par là même de celle des flux qui y circulent.

La délimitation des hoplexols ainsi que le l'inventaire des composantes qui s'y inscrivent correspondent au point de départ de l'analyse : réalisée sur le terrain cette première étape cherchera à déterminer le plus grand nombre possible d'hoplexols pour garder le maximum de précision pour la suite des traitements. Ce faisant, définir des hoplexols équivaut à caractériser l'hétérogénéité et la complexité du milieu naturel.

Rassemblés par la suite en relevés de milieu (successions verticales d'hoplexols en un point donné) et étudiés en fonction des changements qui surviennent dans les successions verticales d'enveloppes de la géosphère, les hoplexols permettent la caractérisation des unités paysagiques élémentaires : les géons et des géotopes. Les ensembles ainsi définis se caractérisent à la fois en fonction de leur complexité et de leur développement mais aussi, et surtout, en fonction de leurs extensions spatiales. Ils ajoutent de cette manière la dimension latérale à l'analyse du milieu naturel et permettent de passer d'un niveau ponctuel à un niveau aréolaire. A ce titre, le passage d'une échelle à l'autre est réalisé grâce au suivi des changements entre les différents relevés de milieu positionnés le long d'une toposéquence.

Les géons assurent ainsi la définition d'un *contenu du milieu naturel*. Cette unité paysagère est donc nécessaire à la compréhension globale du milieu naturel. Toutefois, compte tenu du fait qu'elle n'intègre pas les contraintes topographiques dans sa définition, il est nécessaire de s'intéresser à une maille paysagère plus englobante : le segment de paysage. Associant des géons au sein d'enveloppes topographiques placées entre deux ruptures de pente, les segments de paysage sont les éléments clés pour expliquer les organisations latérales et verticales présentes dans la nature. Ce sont ces entités que nous chercherons à matérialiser et à décrire précisément dans la suite de ce rapport pour expliquer les cheminements de l'eau dans les bassins versants retenus ici. C'est d'ailleurs à partir de ces unités spatiales qu'il est possible de caractériser les paysages. Représentant des séquences paysagiques le long desquelles se répartissent des segments de paysages et qui se répètent toujours à l'identique, les paysages sont les ensembles les plus vastes que l'on sera amené à considérer ici. Procédant de par synthèses successives, le milieu naturel est analysé de manière fine, complète et précise. C'est d'ailleurs cette *démarche théorique* qui fut suivie tout au long de cette étude, depuis le terrain jusqu'à la définition finale des paysages. Les étapes nécessaires à sa mise en place et les résultats qu'elle propose sont à ce titre présentés dans les chapitres suivants.

DEUXIEME PARTIE

***DONNEES ET TRAITEMENTS :
DU TERRAIN VERS UN MODELE
D'ORGANISATION DU MILIEU NATUREL...***

CHAPITRE IV

LA TYPOLOGIE DES FACETTES TOPOGRAPHIQUES

INTRODUCTION

Les données utiles à la caractérisation et à la *modélisation* des segments de paysages nécessitent deux types de travaux de terrain bien distincts. Un inventaire des facettes topographiques tout d'abord, nécessaire à la définition de l'enveloppe topographique des segments et une analyse des profils verticaux de la géosphère ensuite pour déterminer les géons qui constituent leur contenu. Pour que l'ensemble soit complet, il faut en outre ajouter les données portant sur le suivi des états des géons, éléments capitaux pour déterminer les cycles dans lesquels s'inscrivent les segments et les paysages, ainsi que les perceptions paysannes qui fournissent des apports non négligeables pour l'interprétation (Morschel & *al.*, 2005). Il est utile de préciser que toutes les données présentées dans ce chapitre n'ont pas été collectées dans le cadre exclusif de cette thèse. Nombre d'entre elles sont extraites de travaux de thèse ou de master réalisés sur les mêmes paysages de la Dorsale Tunisienne que ceux choisis pour cette étude. Devant le temps passé sur le terrain pour collecter toutes ces informations il s'avère en effet que le travail d'une seule personne n'aurait pas suffi dans la durée impartie pour la réalisation d'une Thèse de Troisième cycle. Aussi, c'est grâce au labeur des sept membres d'une équipe encadrée par Jean-François Richard en Tunisie, dont l'intérêt commun est de caractériser les paysages, que la richesse d'information utilisée ici est rendue possible. Malgré les sensibilités différentes et les problématiques distinctes qui ont animé tous ces individus, les données ont été récoltées à une même échelle d'analyse et en suivant un protocole globalement similaire et ce qui autorise leur utilisation.

Ce quatrième chapitre aborde la première phase de la détermination des segments de paysages à savoir la définition et l'analyse du cadre topographique dans lequel ils se placent (cf : V.3.2.2, figure 5.2). Il repose sur l'étude des facettes topographiques déterminées sur le terrain ainsi que sur les regroupements en *types de facettes* imposés par leur grand nombre. Il s'agit d'organiser les connaissances et les données collectées dans le but de déterminer à la fois les extensions maximales imposées par un *type de relief* donné ainsi que de préciser les implications dynamiques liées à sa morphologie.

Les paragraphes qui suivent présentent la démarche technique qui permet d'aboutir à la détermination du cadre topographique ainsi que l'analyse partielle des dynamiques qu'il induit. Trois étapes sont utiles pour aboutir à cette caractérisation. Une première étape présente à la fois la méthode suivie sur le terrain pour délimiter les facettes topographiques ainsi que les données qui leur sont attachées. La question des traitements réalisés sur ces données de terrain est ensuite abordée dans une seconde étape. Enfin, les résultats de ces traitements et les *types de facettes* définis par l'analyse sont donnés dans un troisième paragraphe.

IV.1 - DONNEES DE TERRAIN, PRESENTATION ET CRITIQUES.

Abordons maintenant les traitements qui permettent l'analyse, la description et la différenciation du cadre topographique dans lequel viennent s'inscrire les segments de paysage sur les trois bassins versants de Kamech, Abdeladim et El Hnach. Ainsi, dans un premier temps sont présentées les données utiles à leur détermination puis sont expliqués les traitements qu'elles permettent de réaliser dans le but de définir des types de facettes topographiques. Enfin, les résultats de ces traitements sont fournis et analysés.

IV.1.1 - Les éléments communs aux trois bassins versants.

Une facette topographique correspond à une portion d'espace isomorphe, limitée à l'amont et à l'aval par des ruptures ou inflexions de pente et latéralement par des changements significatifs d'orientation. L'espace couvert par une facette topographique est un espace uniforme tant sur le plan de l'inclinaison et de l'orientation de la pente qu'au niveau de la forme de son profil dans le sens de la plus grande pente.

La méthode suivie sur le terrain est relativement simple à mettre en œuvre puisqu'il s'agit simplement de parcourir le bassin versant en répertoriant, sur un support précis de type photographie aérienne, le plus grand nombre de facettes. Toutefois, afin de rendre le découpage réalisé compatible avec les traitements numériques sous support SIG, une condition est formulée : une facette topographique doit avoir une longueur minimale d'environ 10 m dans le sens de la plus grande pente. En deçà de cette longueur, les éventuels changements topographiques ne sont donc pas répertoriés. A quelques exceptions près ! Il s'avère en effet que certaines ruptures topographiques très courtes spatialement, comme par exemple la présence d'un régolite en affleurement, marquent des changements très significatifs dans le milieu et méritent par là même d'être signalés. Hormis ces cas relativement rares, qui relèvent à la limite du domaine du *savoir de l'expert*, la règle énoncée s'applique.

Chaque facette répertoriée fait en outre l'objet d'une caractérisation quantitative et qualitative. Sont ainsi relevées des variables mesurées telles que son inclinaison et son orientation moyenne et des variables qualitatives comme l'occupation du sol, le type d'écoulement ou encore la description des formes topographiques. Toutes les informations relevées qu'il s'agisse du contour de chaque facette ou de leur caractérisation individuelle donne lieu à la mise en œuvre d'un SIG à partir duquel les traitements peuvent être réalisés.

IV.1.2 - Les facettes topographiques de Kamech.

Sur le bassin versant de Kamech, le travail de délimitation des facettes topographiques a été réalisé au printemps 2002 par Faiza Allouch-Khébour, Meriem Labiadh, Jean Morschel et Elise Temple-Boyer lors d'une étude préliminaire dont le but était de déterminer les *chemins de l'eau* sur cet espace. Le travail effectué sur une durée approximative d'un mois, a permis la collecte de quelques 1305 facettes topographiques (figure 4.1) caractérisées en fonction des règles énoncées dans le premier point de ce paragraphe.

Parmi l'ensemble des facettes relevées sur le terrain, seulement 869 prennent effectivement part à l'analyse typologique. En effet, 436 facettes répertoriées se répartissent dans deux ensembles directement discernables sur le terrain et sont par conséquent *exclues* des

traitements qui permettent de déterminer les types d'unités topographiques : les facettes anthropiques telles que les pistes, les routes et les habitations d'un côté et les facettes du réseau hydrographique correspondant aux lits "mineurs" des oueds, ravins, ravines et rigoles remarquables, de l'autre.

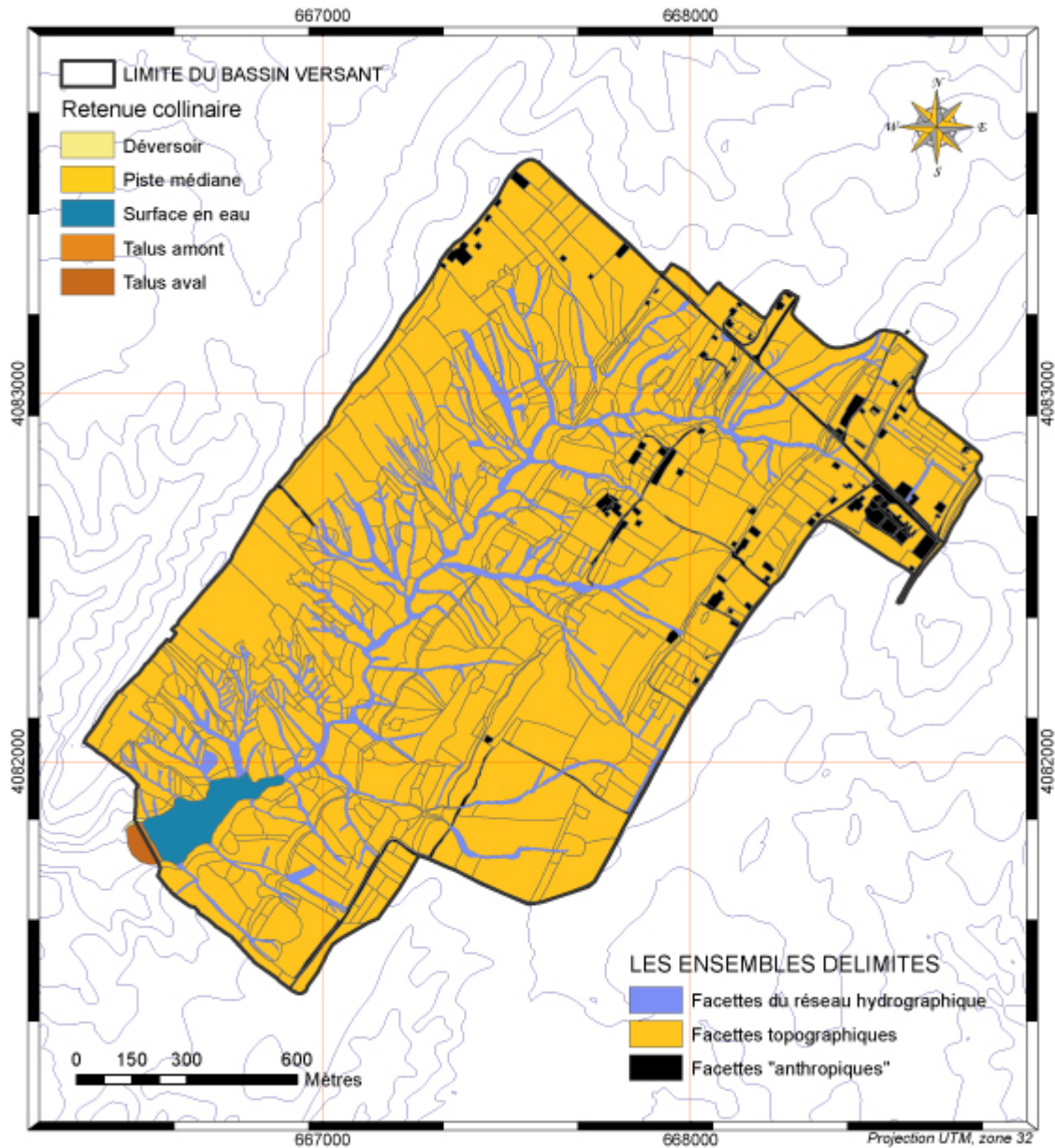


Figure 4.1 : Les 1305 facettes topographiques retenues sur le bassin versant de Kamech.

(D'après les levés de terrain réalisés par Allouch-Khébour, Labiadh, Morschel et Temple-Boyer, Mai/Juin 2002).

Il convient toutefois de préciser que ces facettes particulières sont ajoutées à la classification finale et qu'elles prennent donc place dans le découpage en segments de paysage. Leur importance est d'ailleurs à signaler dans la caractérisation et l'explication du cheminement de l'eau dans le milieu naturel. Cela semble évident en ce qui concerne les lits mineurs des cours d'eau puisqu'ils représentent les principaux drains collecteurs dans le paysage. En revanche, l'importance des axes anthropiques tels que les pistes et les routes dans la collecte et la concentration du ruissellement est souvent négligée. Dans le cas présent, ils sont, dans la

mesure du possible raccordés au réseau hydrographique naturel afin d'être pris en compte dans l'analyse.

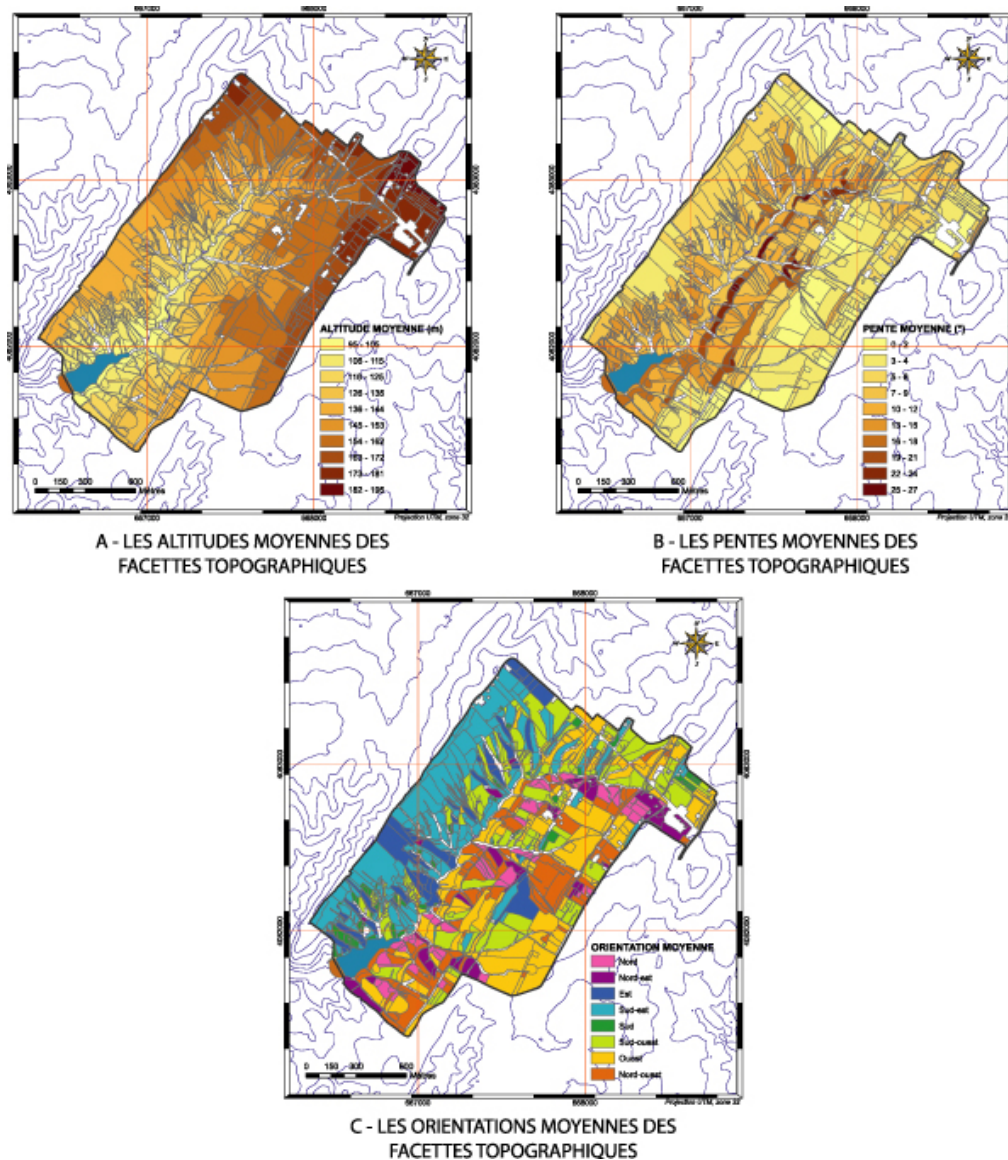


Figure 4.2 : Les données quantitatives caractérisant les facettes topographiques de Kamech.
(D'après les levés de terrain réalisés par Allouch-Khébour, Labiadh, Morschel et Temple-Boyer, Mai/Juin 2002).

Les facettes topographiques répertoriées et cartographiées sont définies en premier lieu par des paramètres quantitatifs : l'altitude moyenne, la pente moyenne et l'orientation moyenne. La figure 4.2 montre ces trois paramètres ainsi que leur répartition spatiale.

Ces paramètres chiffrés présentent un double intérêt. Ils autorisent en effet des traitements statistiques et sont par conséquent à la base des classifications réalisées. Ensuite, ils sont d'une importance majeure dans l'analyse des dynamiques du milieu qu'ils conditionnent au moins pour partie. Ainsi, un type de facette donné sera avant tout composé d'une classe d'altitude, d'une classe de pente et d'une classe d'orientation. Autant d'éléments qui entrent en considération dans la définition des dynamiques érosives globales et dans la *succession* de ces dynamiques dans le paysage.

POUR COMPRENDRE LES CHOIX REALISES.

Il est important de noter que les valeurs moyennes d'altitude, de pente et d'orientation par facette topographique utiles aux traitements ne sont pas celles qui sont directement mesurées sur le terrain. Elles proviennent d'un couplage avec un Modèle Numérique de Terrain (MNT) sous support SIG. Deux raisons justifient ce choix : tout d'abord car il était impossible d'obtenir une mesure précise de l'altitude faute d'avoir un instrument adapté (pas d'altimètre disponible, mesures altimétriques interpolées à partir d'un GPS trop hasardeuses)... Ensuite, les mesures de pente et d'orientation réalisées avec un clinomètre et une boussole ne fournissaient pas non plus de valeurs suffisamment fiables pour pouvoir être utilisées. L'exemple présenté en figure 4.3 montre les différences entre les valeurs de pente mesurées sur le terrain et les valeurs moyennes obtenues grâce au MNT.



Figure 4.3 : Comparaison entre les valeurs de pente mesurées et les valeurs de pente moyennes calculées à partir du MNT.

Cette carte montre le résultat de la différence entre ces deux valeurs (terrain - MNT) et permet de déterminer les différences systématiques qui apparaissent entre les deux modes d'obtention de l'information. (D'après les levés de terrain réalisés par Allouch-Khébour, Labiadh, Morschel et Temple-Boyer, Mai/Juin 2002).

Il est possible de constater que les écarts sont nombreux et qu'ils apparaissent tant en terme de surestimation (cas majoritaire) qu'en terme de sous-estimation des mesures de terrain par rapport au MNT. Mais au delà de cet aspect élémentaire, le fait que ces erreurs soient systématiques est à relever : la grande majorité des cas de surestimation des mesures de terrain ont lieu lorsque la pente des facettes topographiques est moins accentuée et inversement, la majorité des cas de sous-estimation apparaît dès lors que la pente est très marquée. Ces différences retournent de plusieurs facteurs : les mesures de terrain sont parfois réalisées trop rapidement ou par divers opérateurs ce qui entraîne inéluctablement des erreurs. Mais aussi, chaque facette sur le terrain est caractérisée par un seul levé situé à mi-pente. Ceci a tendance à lisser tous les petits changements d'inclinaison qui surviennent dans ces ensembles (comme par exemple les concavités et les convexités) car aucun versant n'est jamais parfaitement rectiligne, même s'il est décrit comme tel. Les moyennes extraites du MNT en revanche tiennent compte de ces changements et apparaissent donc comme plus précises que les mesures de terrain. Le problème de la mesure des orientations est d'ailleurs similaire même s'il est moins flagrant. C'est pour ces raisons que le choix d'employer les valeurs moyennes fournies par le MNT est effectué.

En outre, ce choix est aussi motivé par le souhait d'utiliser des valeurs issues d'une même source d'information afin d'éviter les déformations inhérentes à des données de résolution différente. Les altitudes ne pouvant être obtenues que par traitement numérique il semble alors logique de se rabattre vers cette source d'information pour quantifier les deux autres paramètres.

Outre les variables quantitatives qui viennent d'être présentées et qui sont à la base de la typologie des facettes topographiques, des variables qualitatives (figure 4.4) sont aussi relevées pour caractériser les ensembles définis sur le terrain. Le jeu de données auxquelles elles renvoient n'est pas pris directement en compte dans les traitements statistiques mais sont des aides précieuses dans la description des types obtenus et dans l'interprétation des dynamiques hydriques et érosives qui les caractérisent.

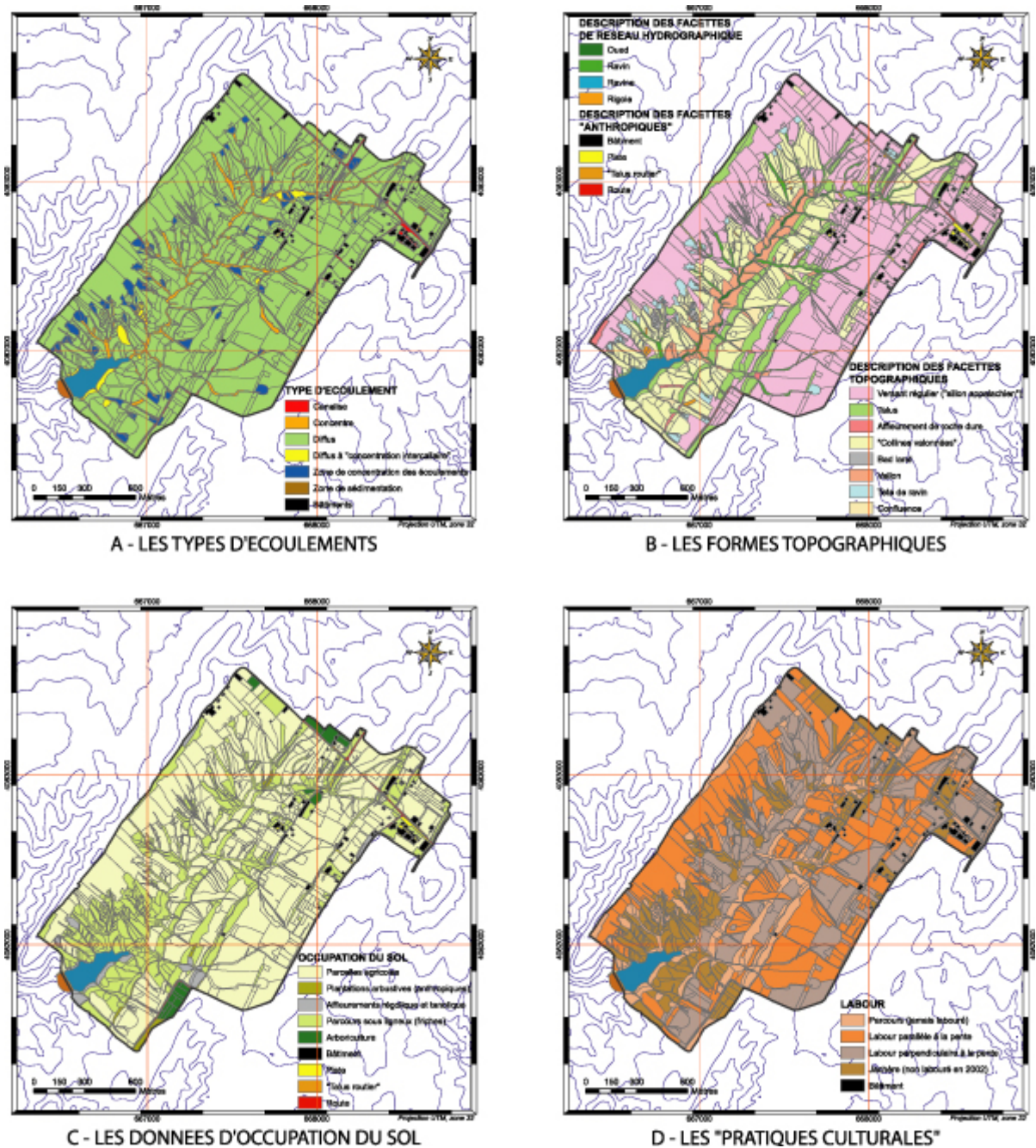


Figure 4.4 : Les données qualitatives caractérisant les facettes topographiques de Kamech.
(D'après les levés de terrain réalisés par Allouch-Khébour, Labiadh, Morschel et Temple-Boyer, Mai/Juin 2002).

Les variables retenues dans le cas de Kamech (figure 4.4) sont :

- Les types d'écoulement (figure 4.4-A), caractérisés par 6 modalités,
- Les types de modelés (figure 4.4-B), définis par 8 modalités en ce qui concerne les facettes topographiques, complétés par 4 modalités décrivant les facettes du réseau hydrographique et 4 modalités pour les facettes anthropiques,
- Les types d'occupation du sol (figure 4.4-C), décrits par 9 modalités,
- Et enfin les types de pratiques culturelles (figure 4.4-D), déclinées en 4 modalités.

La caractérisation qualitative des facettes topographiques est dans ce cas essentiellement axée vers ce qui permet d'expliquer le cheminement de l'eau dans le milieu. Les descriptions sont simples et il apparaît clairement qu'elles sont incomplètes (aucune information sur la forme des versants par exemple). Mais malgré ces manques, elles fournissent tout de même une précieuse source de renseignements qui apporte des précisions sur les types de facettes issues des traitements réalisés sur les données quantitatives d'une part et qui, d'autre part, permet de faciliter les liaisons entre les facettes topographiques et l'analyse réalisée sur les profils verticaux de la géosphère. Il est toutefois important de noter que pour cette campagne de terrain aucun protocole de collecte des données n'était établi à l'avance puisque c'est cette première étude qui a permis sa définition. Il s'agissait du premier travail de terrain de l'équipe et bien des choses restaient à apprendre. Les études du même genre réalisées par la suite sont plus systématiques quant aux données collectées et offrent une richesse d'information qui n'existe donc pas pour Kamech.

IV.1.3 - Les facettes topographiques d'Abdeladim.

Le bassin versant d'Abdeladim a également fait l'objet d'un relevé minutieux des facettes topographiques. Réalisé en avril - juin 2003 par Olfa Riahi dans le cadre d'un Master de Géographie (option Géomorphologie et environnement) la collecte des données, axée sur le thème de l'étude de l'érosion hydrique et de l'évolution des paysages, permet la différenciation de 417 facettes topographiques (figure 4.5), soit moitié moins que sur Kamech (en ne comptant que les facettes de *versant*). Dans le cas d'Abdeladim, les facettes du réseau hydrographique et les facettes anthropiques sont aussi distinguées. Le nombre plus restreint d'ensembles répertoriés est essentiellement lié à la plus grande simplicité des formes du relief observées sur Abdeladim. En effet, trois unités parfaitement délimitées spatialement occupent cet espace : le jebel tout d'abord, qui ceinture le bassin et fixe ses limites au nord, au sud et à l'ouest ; le piémont ensuite, surtout marqué sur la partie ouest du bassin versant, qui forme une seconde auréole au pied du jebel ; le glacis enfin, dans la partie centrale du paysage, marqué par des formes monotones et des facettes de taille plus conséquente.

Suivant le même principe que pour Kamech, les facettes répertoriées sur Abdeladim font aussi l'objet d'une caractérisation quantitative et qualitative (figure 4.6). Toutefois, si les paramètres quantitatifs (figure 4.6-A) sont les mêmes, les variables qualitatives relevées changent sensiblement (figure 4.6-B, C, D, E) : ces dernières sont axées autour du thème de l'érosion des sols et non sur celui des chemins de l'eau. De ce fait, la qualification des types de facettes rendue possible par ces informations est quelque peu différente entre les deux espaces. Les différences constatées sur les variables qualitatives relevées ont cependant peu d'incidence sur le raccordement avec l'analyse des profils verticaux de la géosphère.

En outre, des informations complémentaires figurent aussi dans les données rendues disponibles par ce travail de terrain. De nature plus interprétative et souvent incomplètes, elles

fournissent tout de même des éléments supplémentaires à l'analyse et apportent des précisions qui facilitent l'explication du cheminement de l'eau à la surface du sol et les dynamiques érosives que l'on peut en déduire. Parmi ces données il faut citer celles concernant le micro-modèle des facettes topographiques (répartis en "Sillons", "plat" et "en escalier"), celles se rapportant aux types d'érosion ("diffuse", "diffuse et linéaire", "dépôt") et sur les processus qui conduisent aux formes d'érosion constatées ("décapage", "décapage et incision"). Malheureusement, leur côté non systématique et la relative simplicité des modalités définies fait qu'elles ne peuvent constituer au plus qu'un support supplémentaire à la compréhension des phénomènes. De ce fait, elles n'entrent pas dans l'analyse à proprement parler.

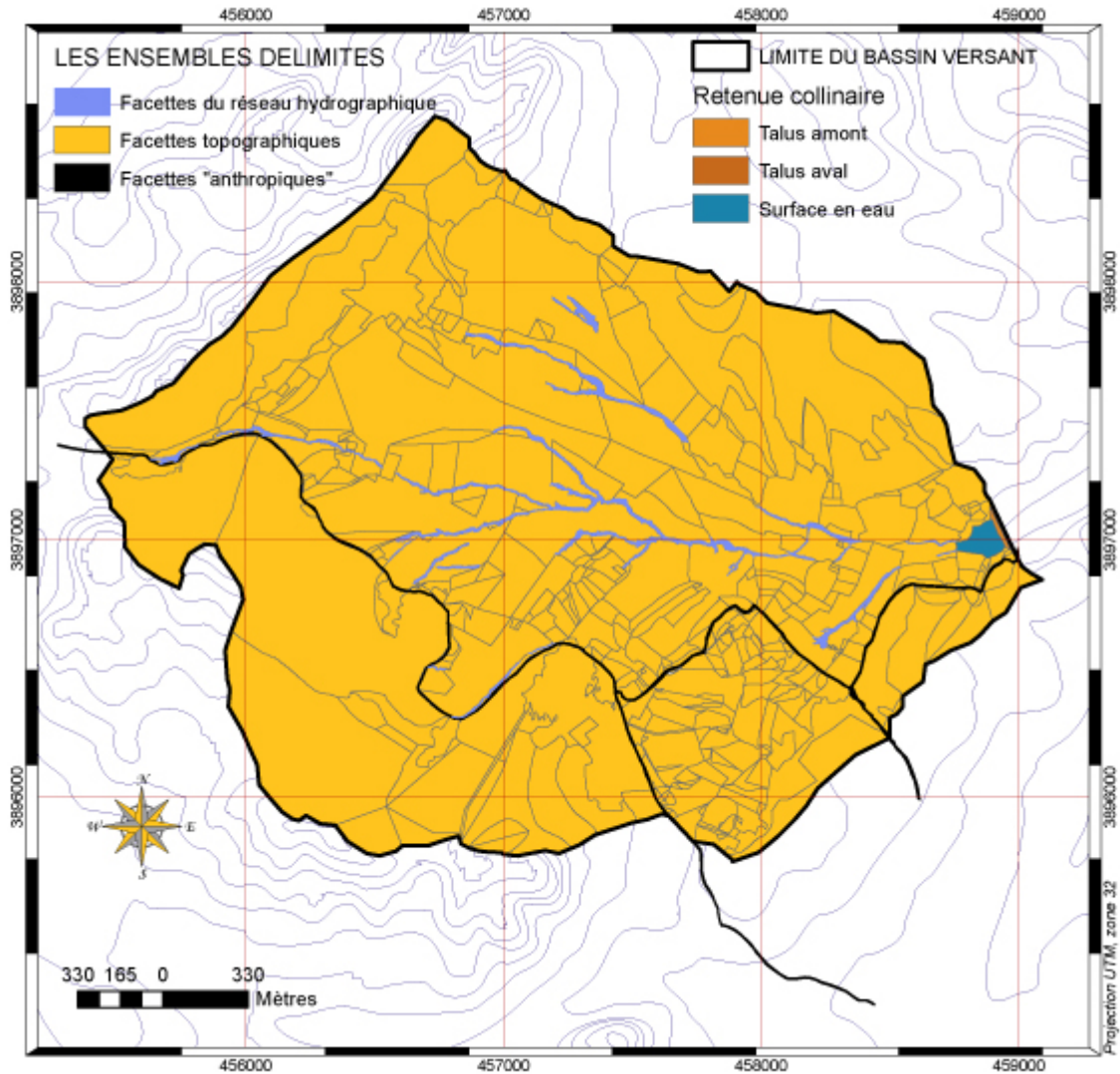
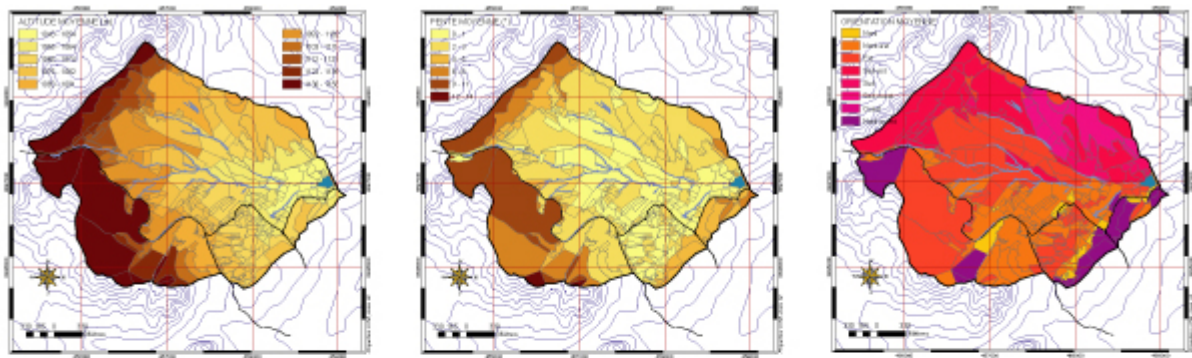
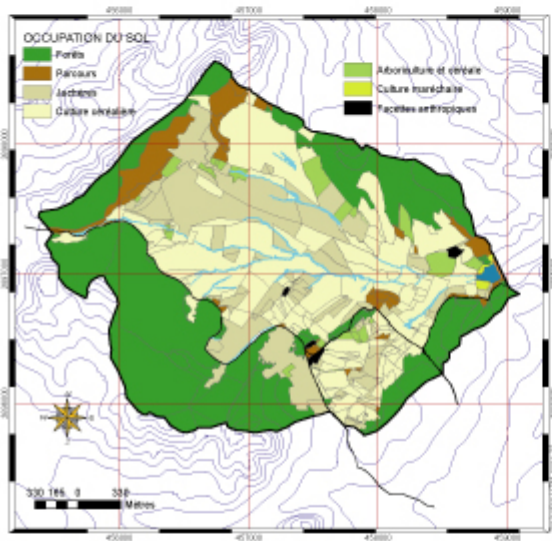


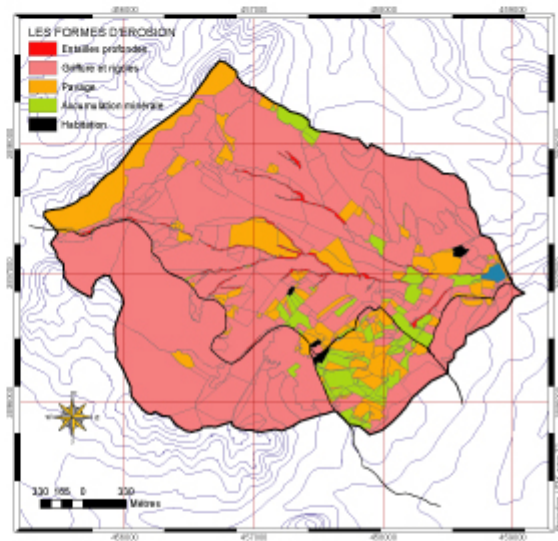
Figure 4.5 : Les 417 facettes topographiques retenues sur le bassin versant d'Abdeladim.
(Source : Riahi, 2005).



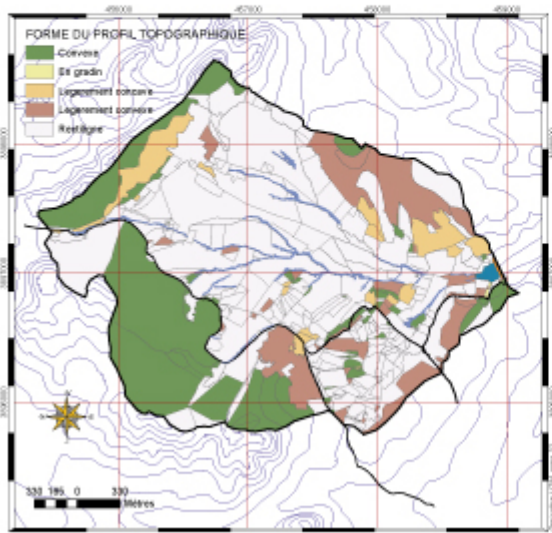
A - LES PARAMETRES QUANTITATIFS (ALTITUDE, PENTE, ORIENTATION)



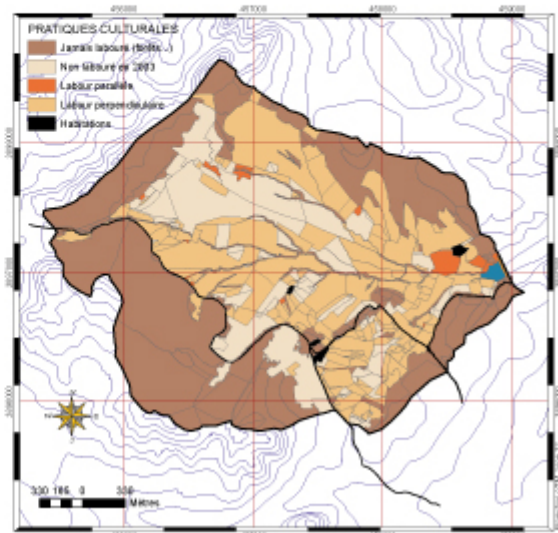
B - LES DONNEES D'OCCUPATION DU SOL



C - LES FORMES D'EROSION



D - LES FORMES DU PROFIL TOPOGRAPHIQUE



E - LES PRATIQUES CULTURALES

Figure 4.6 : Variables quantitatives et qualitatives caractérisant le bassin versant d'Abdeladim.
(Source : Riahi, 2005).

Enfin un troisième groupe de données est aussi disponible grâce à cette étude. Cette fois, elles concernent plus particulièrement l'analyse des paysages définie dans le cadre de l'ATM. Chaque facette topographique est à ce titre renseignée par le volume et la nature des composantes du milieu naturel qui apparaissent dans sa partie la plus visible, c'est-à-dire l'ensemble des composantes situées dans le métaplexion supérieur (et éventuellement le métaplexion strict). Sont ainsi identifiées et quantifiées les 12 composantes tangibles du milieu naturel localisées sur la surface du *sol* les plus fréquemment rencontrées dans cet espace :

- Hypso-réolite (roche dure en affleurement),
- Macroépilite (cailloux de nature variée),
- Mesoépilite (graviers de nature variée),
- Microépilite (sables),
- Dermilite (croûtes de battance),
- Nécrophytion et nécrumite (litières organiques),
- Gramen (plantes herbacées graminéoïde, anthropiques ou non),
- Nécro-gramen (gramens desséchés mais toujours en place),
- Kortodes (plantes herbacées non graminéoïde),
- Nanophytion (plantes sous-ligneuses),
- Nécro-nanophytion (plantes sous-ligneuses dont il ne subsiste que les tiges ligneuses desséchées),
- Nécro-stylagé (trunks ligneux).

Il s'agit là d'une source d'informations précieuses car elles permettent déjà une interprétation sur la répartition spatiale des composantes du milieu naturel dans le paysage d'Abdeladim en fonction des facettes topographiques dans lesquelles elles s'inscrivent. En outre, elles facilitent l'extrapolation des données collectées au niveau *stationnel* lors de la différenciation des géons de ce paysage. Elles participent ainsi grandement à l'élaboration de la cartographie des segments de paysage.

Malheureusement, leur utilisation reste très limitée. En effet, le volume d'aérophyse dans chaque facette topographique n'est pas relevé. Ne pas tenir compte de la part d'air revient à dire que la totalité du volume de la facette topographique est occupée par des matériaux solides. Ce qui est évidemment faux.

De plus, la part d'air a une importance remarquable dès lors que l'on cherche à estimer les densités des couvertures végétales, minérales de la facette topographique : lorsque la part d'air augmente, celle de l'ensemble des autres composantes de la géosphère diminue proportionnellement et réciproquement. Ne pas en tenir compte limite les interprétations qu'il est possible de réaliser à partir de ces données. De ce fait, les seules comparaisons autorisées par cette absence restent à un stade élémentaire : plus de ceci et moins de cela, mais rien de véritablement significatif car il est simplement impossible d'une part de savoir dans quelles proportions une composante varie par rapport à l'ensemble des composantes de la facette considérée et d'autre part de comprendre comment les facettes se classent entre elles en fonction des densités de chacune de leurs composantes.

IV.1.4 - Les facettes topographiques d'El Hnach

Le bassin versant d'El Hnach a fait l'objet d'une campagne de collecte de l'information au cours de l'automne 2004. Elle fut réalisée par Stéphane Gallardo et Houda Rebaï dans le cadre de leur mémoire de Master.

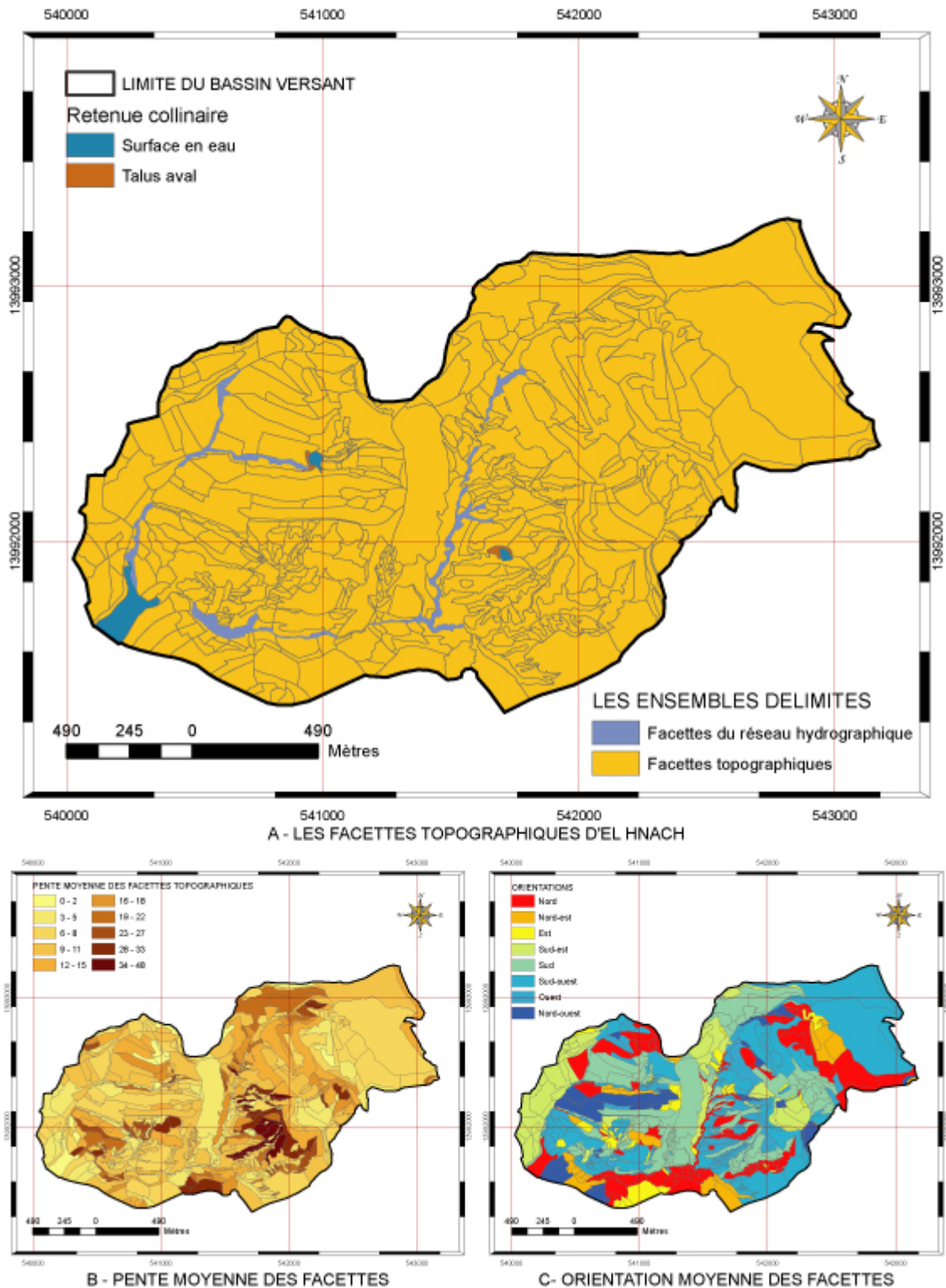


Figure 4.7 : Variables quantitatives caractérisant le bassin versant d'El Hnach.
(D'après les levés de terrain réalisés par Stéphane Gallardo, Octobre - Décembre 2004).

Seules les données collectées sur le terrain et transcrites sous support SIG sont disponibles. En revanche, les manuscrits des mémoires n'étant pas fournis, il est impossible de préciser dans quel cadre particulier ces informations ont été collectées. En outre, le cas d'El Hnach est problématique quant aux données récoltées. Celles-ci, bien que très complètes d'un point de

vue de l'analyse du milieu naturel, ne sont pas compatibles entre elles pour deux raisons essentielles.

En premier lieu, cette incompatibilité réside dans les grandes déformations inhérentes au relief du bassin versant. Très contrasté et relativement complexe dans son organisation topographique El Hnach pose le problème du redressement des images aériennes utiles à la collecte de l'information de terrain sur les facettes topographiques. Celles-ci n'ont pas fait l'objet d'une orthorectification suffisante ce qui a comme conséquence d'empêcher l'utilisation d'un MNT pour déterminer les altitudes, les pentes et les orientations moyennes. De ce fait, il faut se contenter des valeurs de pente et d'orientation définies sur le terrain et ce en dépit des remarques formulées à leur égard dans le paragraphe VI.1.2.

Outre ce fait, il faut aussi signaler que les deux SIG établis n'utilisent ni le même système de référence ni les mêmes documents de base. Malheureusement, s'il est relativement simple de passer d'un système de projection à un autre, il est impossible de redresser les tracés vectoriels représentant les unités répertoriées. Là encore, les déformations des images aériennes trop importantes et les tracés réalisés sur chacune d'elles en tiennent nécessairement compte ce qui les rend incompatibles entre eux.

Il est toutefois nécessaire de signaler que ces problèmes auraient pu être évités facilement en réalisant, dès le départ de ces travaux, les redressements des documents utilisés pour le recueil des informations sur le terrain. Ce constat s'applique d'ailleurs à tous les cas de collecte d'information sur le terrain : il est essentiel, avant même de commencer les travaux, de préparer l'ensemble des documents utiles aux analyses ultérieures, surtout lorsque ces traitements utilisent les technologies SIG et télédétection. Sans cet effort préalable, de multiples problèmes impossibles à corriger surviennent.

Face à cela, seule une partie de l'information disponible peut être utilisée ici. Plus précisément, il s'agit des données collectées par Stéphane Gallardo. Les autres sont abandonnées car le travail nécessaire à leur mise en conformité est trop important et les résultats qu'il est permis d'espérer ne sont pas satisfaisants. Ce sont ainsi 519 ensembles topographiques isomorphes qui s'inscrivent dans le paysage contrasté d'El Hnach (figure 4.7-A). Ces facettes sont renseignées par la pente et l'orientation moyenne (figure 4.7-B, C) ainsi que par le volume des vingt composantes du milieu naturel rencontrées dans le métaplexion strict et supérieur de ce bassin versant. C'est uniquement à partir de ces deux types de données que les traitements sont réalisés dans ce cas.

Les trois bassins versants ont fait l'objet d'une caractérisation topographique fine et détaillée à laquelle est associée un ensemble d'informations utiles à leur qualification. A partir de ces données de base sont réalisés des traitements statistiques en vue d'élaborer une typologie des facettes pour chacun de ces espaces. Cette typologie est essentielle pour clarifier l'information et comprendre leur organisation topographique, notamment les systèmes de pente en présence. En outre elle se situe à la base de la segmentation du paysage. Le second paragraphe de ce chapitre présente donc les traitements réalisés à partir de ces données.

IV.2 - LA TYPOLOGIE DES FACETTES TOPOGRAPHIQUES : THEORIES ET TRAITEMENTS.

Dans ce paragraphe est abordée la question des traitements réalisés à partir des données collectées sur le terrain dans le but de regrouper les facettes identifiées en quelques types particuliers. Les facettes topographiques obéissent en effet à des règles d'organisation générales imputables, dans le monde méditerranéen, à la différence de dureté du substrat géologique et à l'érosion différentielle qui s'opère et façonne le relief. Elles ne se retrouvent donc pas par hasard en un lieu donné et il est fortement probable qu'une unité topographique soit similaire à celles qui lui sont voisines spatialement. C'est d'ailleurs cette caractéristique qui permet leur regroupement en types similaires du point de vue des paramètres topographiques. Ce paragraphe présente les différents traitements permettant de classer statistiquement les facettes topographiques. Les étapes sont expliquées d'un point de vue théorique sans toutefois entrer dans le détail des calculs effectués au cours des diverses procédures réalisées.

IV.2.1 - Quelques mots sur la chaîne des traitements (figure 4.8).

La méthode suivie s'inspire des classifications des *types de temps* des climatologues, qui proposent de réaliser, dans un premier temps, une réduction de l'information avant de passer à la classification à proprement parler. Deux séries d'opérations successives sont nécessaires : réduire l'information à quelques composantes, par l'intermédiaire d'une Analyse en Composantes Principales (ACP), puis classer l'information simplifiée, suivant différentes méthodes, pour obtenir le résultat escompté. Les traitements sont réalisés sous Excel 2000 à l'aide de l'extension XLStat 2006. Les résultats sont ensuite retranscrits dans le SIG et analysés aussi bien d'un point de vue statistique que spatial. La visualisation directe des résultats sur une carte facilite d'ailleurs leur interprétation.

Dans la première étape du traitement une ACP est réalisée sur les trois variables quantitatives disponibles : l'altitude moyenne, la pente moyenne et l'orientation moyenne des facettes topographiques (mis à part pour El Hnach où seules deux des trois variables sont disponibles). Le but est de faire ressortir les composantes les plus significatives du phénomène et de ne retenir que celles-ci pour la classification. Evidemment, avec seulement trois variables au départ, la réduction informationnelle est très restreinte. Il s'avère en effet que plus de 80 % de la variance est expliquée par les deux premiers axes factoriels, ce qui est parfaitement logique et qui tendrait à montrer que cette étape est inutile. La classification pourrait, de ce point de vue, être directement réalisée à partir des données brutes de pente, d'altitude et d'orientation. Toutefois, l'exécution de l'ACP met en avant des éléments d'analyse, issus de la synthèse de l'information qu'elle opère et qui facilitent les interprétations. Il est ainsi possible de comprendre *visuellement* comment les variables interagissent dans un espace donné. En fonction des degrés de corrélation entre les variables et les axes factoriels sur lesquels elles s'inscrivent, ils est possible de constater des oppositions ou au contraire des évolutions dans le même sens : autant d'éléments nécessaires à la compréhension de l'organisation des facettes topographiques et justifiant leur groupement dans une classe donnée.

Une fois cette première étape accomplie, il faut ensuite définir les classes à proprement parler. Cette seconde étape est plus conséquente au niveau des opérations effectuées et des interprétations déduites. Il s'agit en effet de définir le nombre de classes le plus représentatif du milieu concerné. Chaque cas étant unique, il n'est pas possible de connaître à l'avance le nombre de groupes à déterminer. Aucun protocole fixe n'est donc établi au préalable. Il est de

ce fait nécessaire de réaliser plusieurs scénarios (faisant varier le type de classification et le nombre de classes) puis de les comparer spatialement afin de voir lequel d'entre eux donne les meilleurs résultats. Pour chaque bassin versant, les trois techniques de classification testées, Classifications Ascendantes Hiérarchiques, classification de type K-means ou encore classification mixte sont comparées au travers de 5 classes (3 pour la classification mixte) et transcrites spatialement dans le SIG. C'est à partir des treize cartes représentant les treize scénarios que la classification optimale est adoptée. Cette manière de procéder permet d'obtenir la meilleure représentation possible, en fonction des variables disponibles, pour chacun des trois bassins versants.

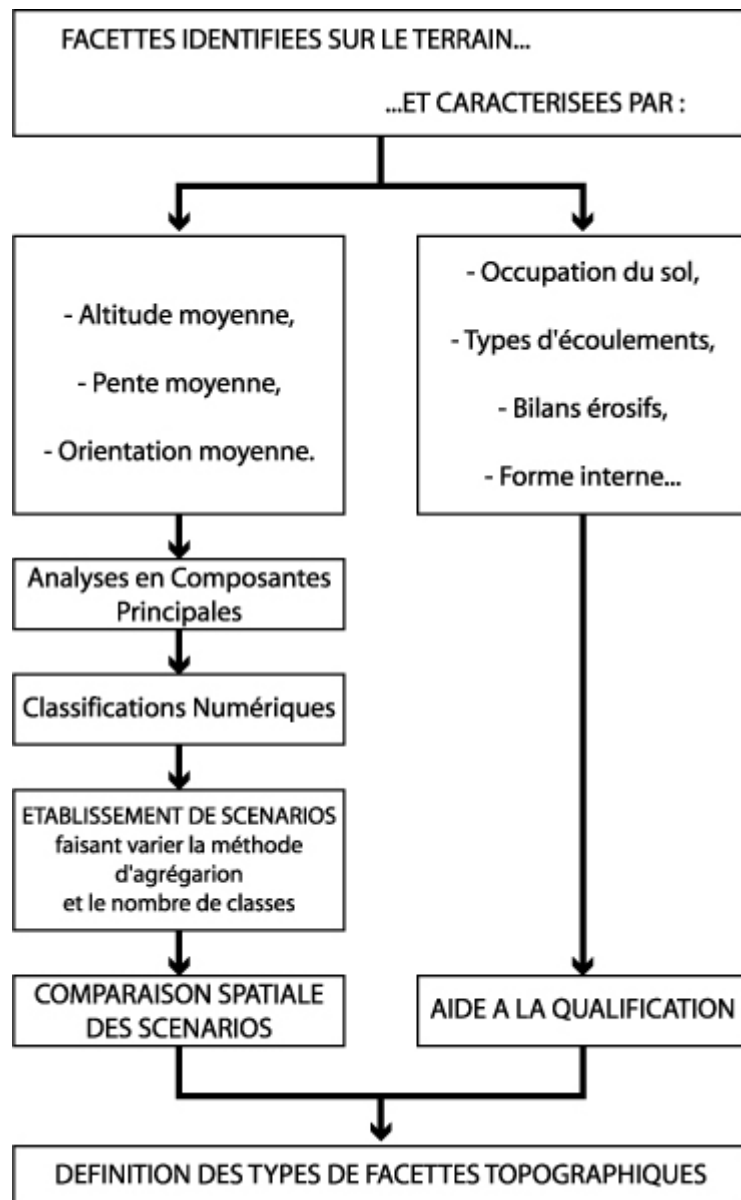


Figure 4.8 : Chaîne des traitements pour la typologie des facettes topographiques.

L'étape ultime du traitement, une fois la méthode de classification choisie et le nombre de classes établi, consiste en l'analyse des catégories obtenues et en l'interprétation des *types de facettes* qu'elles définissent. Cette dernière étape s'appuie à la fois sur l'analyse des variables quantitatives utilisées pour la réalisation de la classification et sur l'étude des variables qualitatives collectées sur le terrain. Si l'ensemble de la procédure typologique est

automatique, cette dernière étape est interprétative puisqu'elle fait référence à la *connaissance* que l'on a d'un paysage et ne peut être réalisée qu'en fonction de celle-ci. Toutes les procédures automatisées ne sont, dans ce sens, que des supports qui facilitent l'interprétation et ne constituent pas, par conséquent, une fin en elles mêmes.

IV.2.2 - Théorie et règles d'interprétations.

IV.2.2.1 - L'Analyse en Composantes Principales (ACP).

La différenciation des types de facettes topographiques propose, en premier lieu, de réaliser une ACP sur un tableau comportant les trois variables numériques, extraites du MNT, et les "n" individus représentant les "n" facettes topographiques des différents bassins versants.

Il s'agit donc de comprendre comment les variables et les individus s'inscrivent dans les axes factoriels utiles à l'analyse. Il est communément admis de ne retenir que les axes dont la valeur propre (ou inertie liée à un facteur) est supérieure à la valeur de l'inertie moyenne c'est-à-dire tous les axes dont la valeur propre est supérieure à 1. Cette règle d'interprétation empirique des axes factoriels est appliquée ici. Bien évidemment, le cas présenté est un peu restrictif puisqu'il est rare de n'avoir que trois variables pour réaliser une ACP. Il est donc logique d'obtenir une très forte part d'inertie expliquée dès le deuxième axe.

Chaque axe factoriel s'interprète ensuite en fonction des variables qui lui sont le plus fortement corrélées positivement ou négativement, c'est-à-dire celles qui sont les plus proches du cercle de corrélation (Lebart, Morineau & Piron, 2004). Cette analyse sert à définir les composantes principales représentées par les axes retenus. Elle permet en outre d'expliquer comment les variables évoluent sur celui-ci et entre de ce fait dans la définition des critères de sélection utiles à la différenciation des types de facettes topographiques.

Un même type d'analyse devrait ensuite pouvoir être réalisé sur les individus afin de déterminer comment ils s'inscrivent sur les axes factoriels définis. Un double problème se pose cependant :

- Il est visuellement difficile d'appréhender individuellement l'ensemble des individus qui prennent part à l'analyse. Les détailler un par un serait beaucoup trop long et n'aurait pas véritablement de sens.
- L'interprétation de la forme du nuage de points pose le second problème : il est en effet rare (sauf dans les cas théoriques parfaits) d'obtenir des groupes d'individus parfaitement séparés les uns des autres ce qui rend difficile leur différenciation et leur interprétation..

C'est pour palier à ce problème que le recours aux techniques de classification s'avère indispensable car il évite la lecture point par point et fait ressortir les groupes d'individus qui caractérisent au final les types de facettes attendus. Le problème est de choisir la classification la plus appropriée et de déterminer le nombre optimal de classes à retenir. Cette étape ne peut donc se faire que par tâtonnement, en réalisant plusieurs scénarios et en les comparant spatialement afin d'apprécier les classes que chacun d'entre eux fournissent. Dans tous les cas, la classification s'appuie sur les coordonnées des "n" observations projetées sur les axes factoriels retenus. Procédant de cette manière, il est possible de classer les objets en fonction d'un premier tri opéré par l'ACP, ce qui permet de ne retenir que les critères les plus représentatifs d'un phénomène donné et par là même, d'alléger les traitements en ne conservant que les éléments clés dans l'analyse.

IV.2.2.2 - Les différentes classifications testées.

Trois techniques de classifications sont testées : les Classifications Ascendantes Hiérarchiques (CAH), les classifications autour des centres mobiles (K-means) et les classifications mixtes qui font intervenir les deux techniques précédentes dans la détermination des classes. Si le principe de chacune de ces classifications est de minimiser la variance intra-classe et de maximiser la variance inter-classe, les algorithmes de calcul qu'elles emploient fournissent toujours des résultats différents selon la méthode utilisée.

En effet, les principes d'agrégation sont différents d'une méthode à l'autre. La CAH repose sur des algorithmes ascendants c'est-à-dire qui procèdent à la construction des classes en comparant et en agrégeant les objets deux à deux pour fournir au final une hiérarchie de partition des objets (Lebart, Morineau & Piron, 2004). La classification autour des centres mobiles procède de manière inverse : elle cherche à réaliser une partition dès le départ, en affectant les différents éléments à des centres provisoires de classes puis recentre les classes définies par itération successive en réaffectant les différents objets dans ces nouvelles partitions (Lebart, Morineau & Piron, 2004).

IV.2.2.2.a - Les classifications ascendantes hiérarchiques.

La **Classification Ascendante Hiérarchique** procède à des regroupements successifs des unités élémentaires en fonction de leur ressemblance par rapport à un critère d'agrégation (Sanders, 1989). Elle commence par calculer la dissimilarité entre l'ensemble des objets de la table puis procède au regroupement des objets deux à deux en fonction du critère d'agrégation choisi (figure 4.9). Cette première étape permet de créer des classes contenant chacune deux objets. La dissimilarité entre les différents groupes d'objets obtenus est alors calculée. Ceux-ci sont à nouveau regroupés en cherchant toujours à minimiser le critère d'agrégation choisi. L'opération est alors répétée jusqu'à ce que tous les objets soient agrégés. Le critère d'agrégation retenu dans notre cas est la distance de Ward qui se base sur la variance minimale entre les objets d'une classe : deux objets ou deux groupes d'objets sont agrégés de telle manière que l'augmentation de la variance intra-classe soit toujours la plus petite possible, permettant ainsi la création de classes homogènes (Bouroche & Saporta, 1987).

L'avantage de la CAH est de fournir un résultat graphique, représenté dans un dendrogramme qui permet de visualiser le résultat du regroupement des objets deux à deux, dont la lecture directe est utile pour déterminer le nombre de classes à retenir. En revanche, il s'avère que cette méthode demande un temps de calcul assez important lorsque le tableau de données est grand. La lecture du dendrogramme sera d'ailleurs pratiquement impossible (XLStat help, 2006) lorsque le nombre d'individus est trop important.

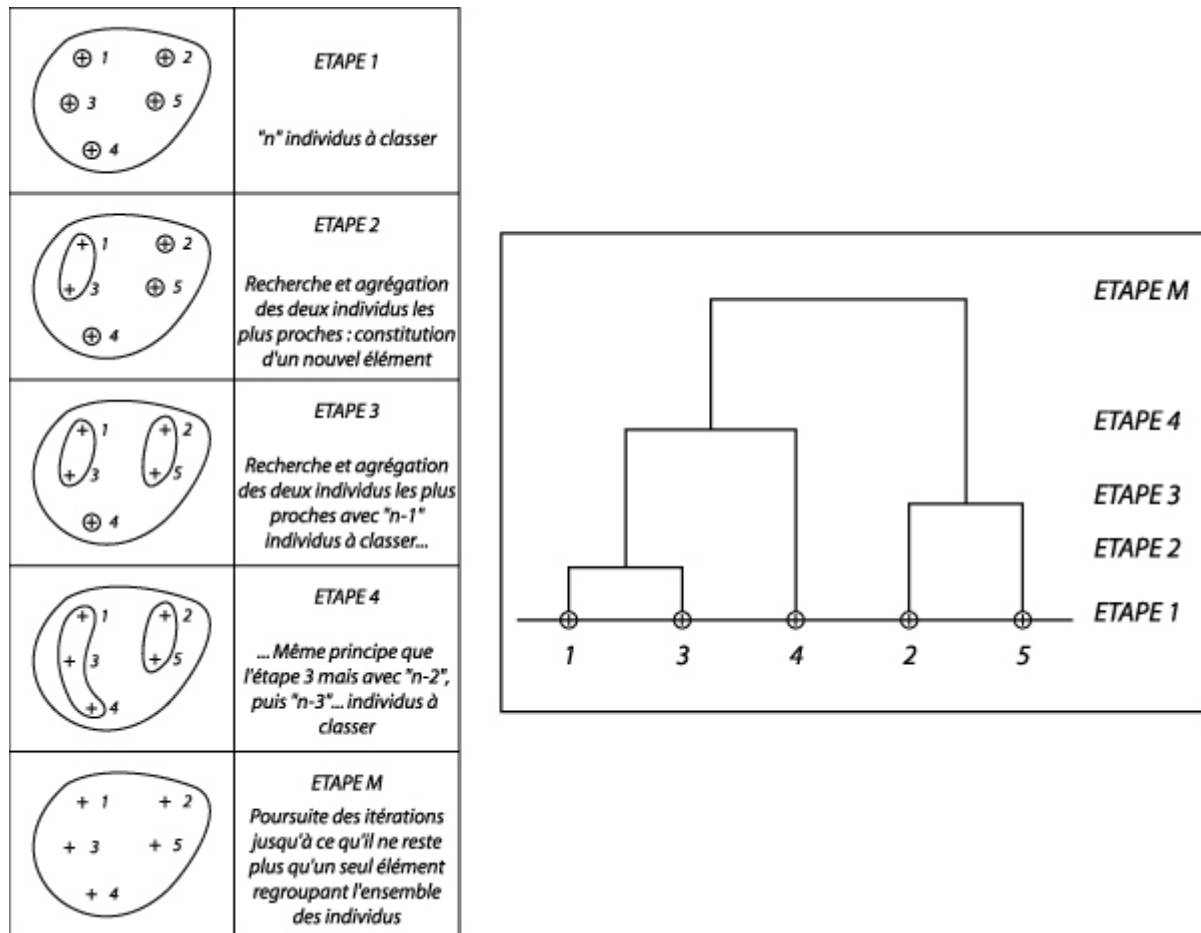


Figure 4.9 : Agglomération progressive de cinq points selon les algorithmes de la CAH et construction du dendrogramme.

(Figure extraite Lebart, Morineau & Piron, 2004)

IV.2.2.2.b - Les classifications autour des centres mobiles.

Les classifications autour des centres mobiles (figure 4.10) procèdent de manière inverse par rapport à la CAH. En effet, la première étape de cette méthode de classification consiste à définir aléatoirement des centres de classes et à leur associer les objets qui leur sont les plus proches en fonction d'un critère d'agrégation donné. La seconde itération permet de redéfinir les centres des classes en fonction des objets qui leur ont été affectés en première itération. Les objets sont alors réaffectés en fonction de la distance qui les séparent des nouveaux centres définis et ainsi de suite jusqu'à ce que la convergence soit établie (XLStat help, 2006). L'algorithme s'arrête nécessairement lorsque deux itérations successives conduisent à la même partition ou lorsque le critère d'agrégation choisi cesse de décroître de manière sensible. Il est toutefois possible de décider arbitrairement d'un nombre d'itérations et ainsi *d'agir* sur le nombre de classes. Lebart, Morineau & Piron (2004) précisent que dans le cas particulier des K-means, la position d'un centre est recalculée chaque fois qu'un individu est réaffecté dans la classe qui lui correspond le mieux, si bien qu'il est possible d'obtenir une partition satisfaisante dès la première itération. Cette technique de classification offre comme avantage, par rapport aux CAH, de permettre la réaffectation d'un individu à des classes différentes au cours des itérations

successives, ce qui permet de le placer au final dans l'ensemble qui lui correspond le mieux (XLStat help, 2006). Elle est en outre plus rapide en terme de calcul et semble de ce point de vue mieux adaptée aux grands tableaux de données. En revanche, le fait que les centres des classes soient établis aléatoirement lors de la première itération rend la classification finale très dépendante de l'ordre des individus dans le fichier de départ (Lebart, Morineau & Piron, 2004). Si cet ordre est modifié, les classes le seront aussi nécessairement. De ce fait, il est rare de pouvoir obtenir successivement les mêmes classes à partir d'un même fichier de données. De plus, cette méthode de classification ne permet pas de voir le nombre cohérent de classes qu'il est possible d'extraire d'un ensemble de données car aucun rendu graphique n'existe pour le déterminer.

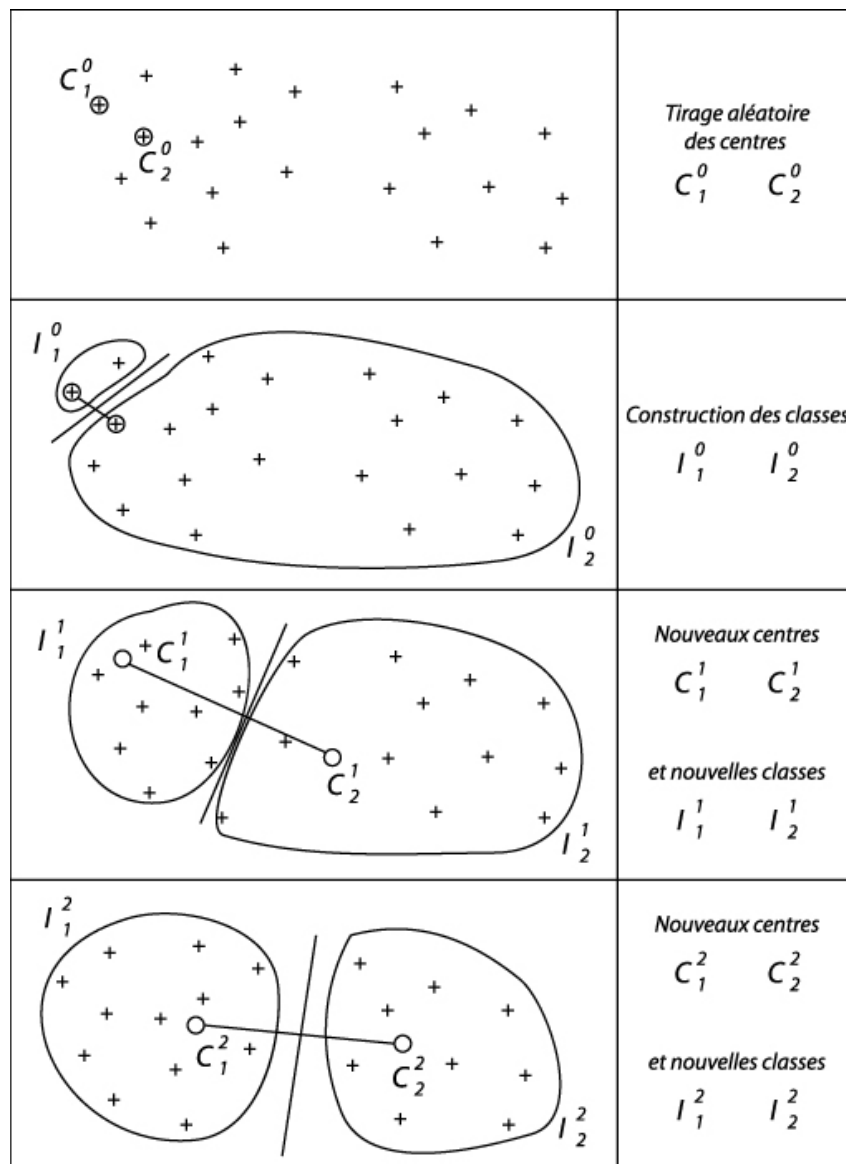


Figure 4.10 : Les étapes de l'algorithme de classification autour des centres mobiles.
(D'après Lebart, Morineau & Piron, 2004)

IV.2.2.2.c - Les classifications mixtes.

Les classifications ascendantes hiérarchiques et les K-means procèdent de manière différentes pour classer les données d'un tableau, chacune avec ses atouts et ses inconvénients. Ces deux méthodes sont toutefois très complémentaires. De ce fait elles peuvent être groupées dans ce que l'on nomme *classification mixte*.

L'algorithme de la classification mixte repose sur trois phases. Lebart, Morineau & Piron (2004) précisent que cette méthode consiste en la mise en place d'un partitionnement initial du tableau de données en quelques dizaines (voire centaines) de groupes à partir desquels une classification ascendante fixera le nombre de classes qu'il est possible d'envisager par lecture sur le dendrogramme. Enfin la partition finale est obtenue par un algorithme de classification autour des centres mobiles, en recalculant les classes à partir des barycentres donnés par la CAH (figure 4.11).

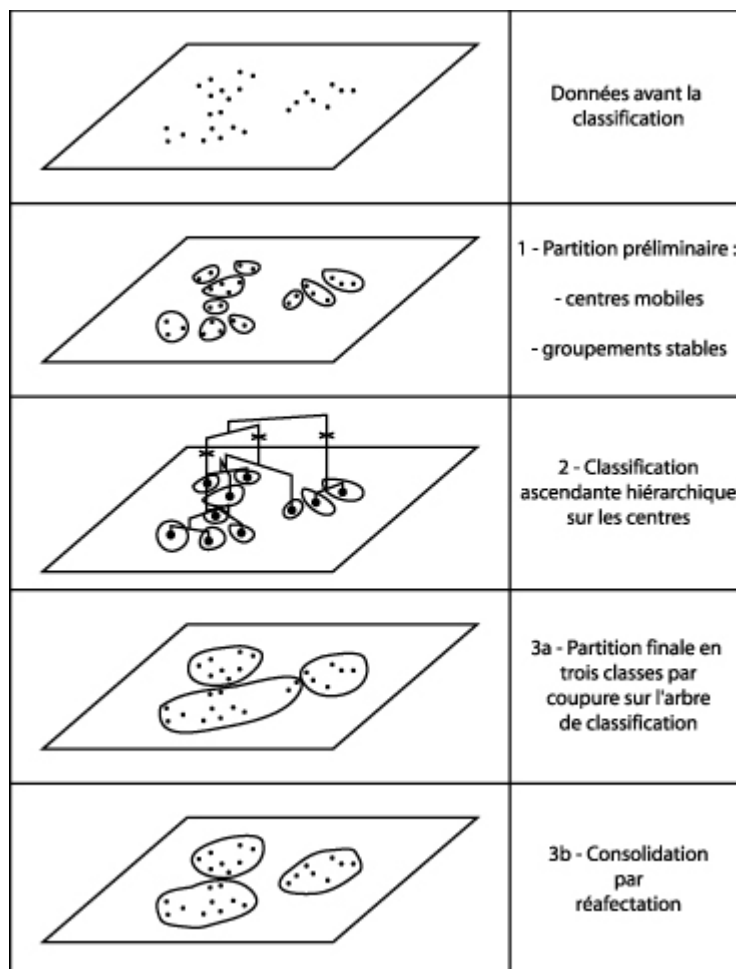


Figure 4.11 : L'algorithme de la classification mixte.
(D'après Lebart, Morineau & Piron, 2004)

Cette technique est généralement utilisée pour traiter les très grands tableaux de données, contenant plusieurs milliers d'individus. Ce n'est évidemment pas le cas des facettes topographiques qui comptent au plus 1305 individus sur le bassin versant de Kamech. Cette méthode est plus lourde à mettre en œuvre que les précédentes du fait du nombre d'étapes qu'elle nécessite. C'est en outre pour cette

raison que seulement trois scénarios sont établis suivant cette méthode. Les résultats ne présentant pas de différences réellement significatives pouvant justifier la mise en œuvre d'une telle technique.

La méthode permettant d'établir la typologie des facettes topographiques repose donc, en premier lieu, sur une ACP réalisée dans le but de réduire l'information disponible au départ puis passe par l'intermédiaire de classifications numériques pour établir les classes sur lesquelles la typologie se base. Le paragraphe suivant présente les différents scénarios établis et les analyses qu'ils permettent dans le but de faire ressortir la meilleure typologie possible pour chaque bassin versant.

IV.3 - LA TYPOLOGIE DES FACETTES TOPOGRAPHIQUES : RESULTATS ET ANALYSES.

Afin de trouver la méthode qui convient le mieux à la typologie des facettes topographiques ces trois techniques de classification sont testées au travers de scénarios faisant varier le nombre de classe obtenues par chaque méthode (entre 4 et 8 classes pour les deux premiers algorithmes et entre 4 et 6 classes pour le troisième). Pour chaque bassin versant, ce sont en tout 13 scénarios qui sont établis et comparés. Les comparaisons réalisées sont relativement élémentaires, mais elles s'appuient tout de même sur l'établissement de critères de sélection issus de l'étude conjointe des résultats statistiques proposés par les divers traitements et sur l'analyse interprétative de profils topographiques représentatifs de chaque espace. Les paragraphes qui suivent, présentent donc les étapes de la différenciation des scénarios ainsi que les analyses qui peuvent être faites à partir des résultats obtenus pour les trois bassins versants retenus dans le cadre de cette thèse. L'ordre des bassins versants analysés est inversé par rapport au premier paragraphe. Ainsi Abdeladim est traité dans un premier temps, puis viennent Kamech et El Hnach. Ce changement est imputable au fait qu'il est plus simple de montrer la démarche à partir de l'analyse d'Abdeladim avant d'aborder des espaces plus complexes du point de vue topographique.

IV.3.1 - Le bassin versant d'Abdeladim.

Le premier bassin versant traité est aussi le plus simple des trois. Le bassin versant d'Abdeladim présente en effet des ensembles topographiques assez contrastés mais dont la répartition et la succession spatiale reste très élémentaire.

IV.3.1.1 - Les critères de sélection des types de facettes.

La comparaison de ces scénarios est basée d'une part sur les résultats statistiques issus des traitements d'ACP et d'autre part sur les organisations topographiques qu'il est possible d'observer directement sur le terrain et qui peuvent être transcrites en terme de profils topographiques. Les explications données dans ce paragraphe sont réalisées dans le but de justifier les choix effectués dans la différenciation des scénarios.

Si l'on s'intéresse en premier lieu aux résultats de l'ACP, et plus précisément à la projection des variables sur les axes factoriels (figure 4.12), deux constats sont permis. Sur F1 tout d'abord, il est possible de remarquer la forte corrélation de l'altitude et de la pente moyenne avec cet axe factoriel. La part d'inertie expliquée par cet axe factoriel (supérieure à 50 %) indique aussi qu'il s'agit du critère le plus déterminant pour expliquer l'organisation des

facettes sur cet espace. L'orientation moyenne n'entre en jeu que dans un second temps. Elle permet d'ailleurs plus de différencier des sous-ensembles topographiques dans les entités établis par le couple altitude / pente. Ainsi, il est possible d'affirmer que les facettes topographiques les plus élevées en altitude sont aussi les plus pentues et inversement. En outre, l'orientation des facettes intervient aussi dans la différenciation, mais sur un second plan. Elle permet de distinguer des facettes similaires du point de vue du couple pente / altitude mais opposées en terme de direction découlements.

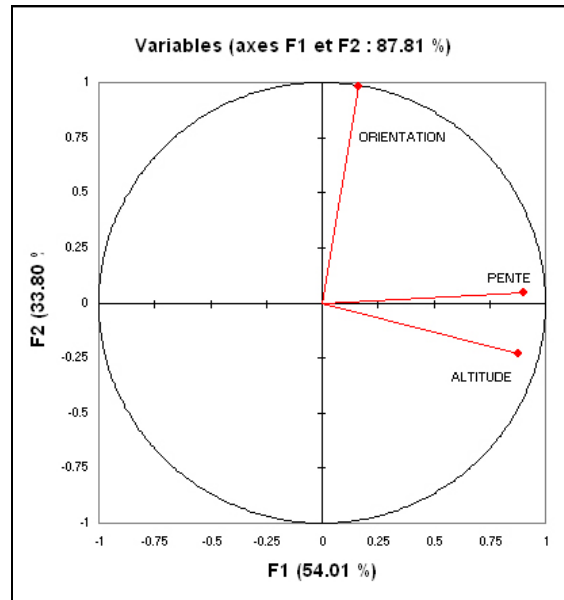


Figure 4.12 : Analyse en Composantes Principales ; projection des variables (altitude, pente et orientation) sur les axes factoriels pour le bassin versant d'Abdeladim.

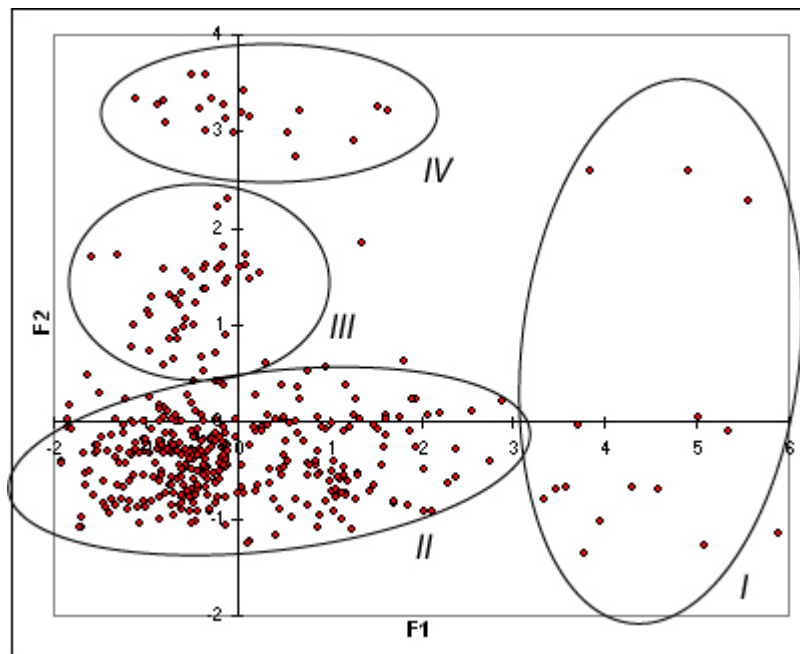


Figure 4.13 : Analyse en Composantes Principales ; projection des individus (facettes topographiques) sur les axes factoriels pour le bassin versant d'Abdeladim.

Au regard de la figure 4.13, il est possible de constater que la projection des individus sur les axes factoriels permet de déterminer, en première approximation, quatre groupes de facettes topographiques :

- Le premier groupe rassemble les facettes les plus élevées en altitude et les plus pentues qu'il est possible de rencontrer au sein de cet espace.
- Le deuxième groupe rassemble à l'inverse les facettes d'altitude moins élevée et de pente plus faible, mais dont l'orientation est similaire à celles présentes dans le groupe 1. Toutefois, à la vue du nombre d'individus représentés, il est fortement possible que des sous ensembles se différencient dans ce groupe.
- Le troisième et le quatrième groupe sont globalement similaires en terme d'altitude et de pente moyenne, mais se différencient entre eux (et par rapport aux deux autres groupes) en fonction de l'orientation moyenne des facettes topographiques.

L'ACP réalisée sur le bassin versant d'Abdeladim met donc en avant quelques éléments utiles à la différenciation des types de facettes. Il s'agit donc maintenant de saisir comment les groupes définis se répartissent sur un plan spatial. L'analyse de la figure 4.14, représentant les quatre profils topographiques permet de comprendre cette répartition en offrant la possibilité d'interpréter spatialement cette distribution statistique. Elle est, en outre, une aide précieuse à l'établissement des critères de sélection pour la typologie des facettes. Les coupes réalisées couvrent l'essentiel des changements qui interviennent dans le relief de cet espace. Orientées suivant des directions différentes, elles témoignent toujours d'une organisation qui se répète à l'identique.

Le bassin versant d'Abdeladim est en effet formé d'auréoles concentriques qui se reproduisent à l'identique depuis son centre vers sa périphérie, quelque soit la direction choisie, même si quelques variations surviennent dans sa partie aval. Ainsi, sur les profils A-B, C-D et E-F, la même succession d'ensembles topographiques est remarquable : un jebel aux versants escarpés, un piémont vallonné et un glacis régulier et peu pentu, s'infléchissant dans sa partie aval. Cette succession se retrouve d'ailleurs dans les groupes I et II présentés sur la figure 4.13. Dans ce contexte organisationnel, les facettes topographiques les plus hautes et les plus pentues succèdent à des facettes d'altitude et de pente moyenne qui elles mêmes succèdent aux facettes les plus basses pour lesquelles la pente est aussi la plus faible. D'une manière générale, cette succession est réalisée suivant une même orientation, qui est celle donnée par chaque profil.

En outre, les profils A-B et E-F, s'achèvent par la présence de collines qui viennent fermer le bassin versant. Marquant moins le paysage du fait de leur dénivellation plus faible, ces collines sont opposés au reste du profil en terme d'orientation (groupes III et IV de l'ACP). Les facettes topographiques qui s'y inscrivent ressortent à ce titre dans les groupes 3 et 4 présentés sur la figure 4.13. Ces deux ensembles qui s'individualisent sont d'ailleurs représentés sur le profil G-H.

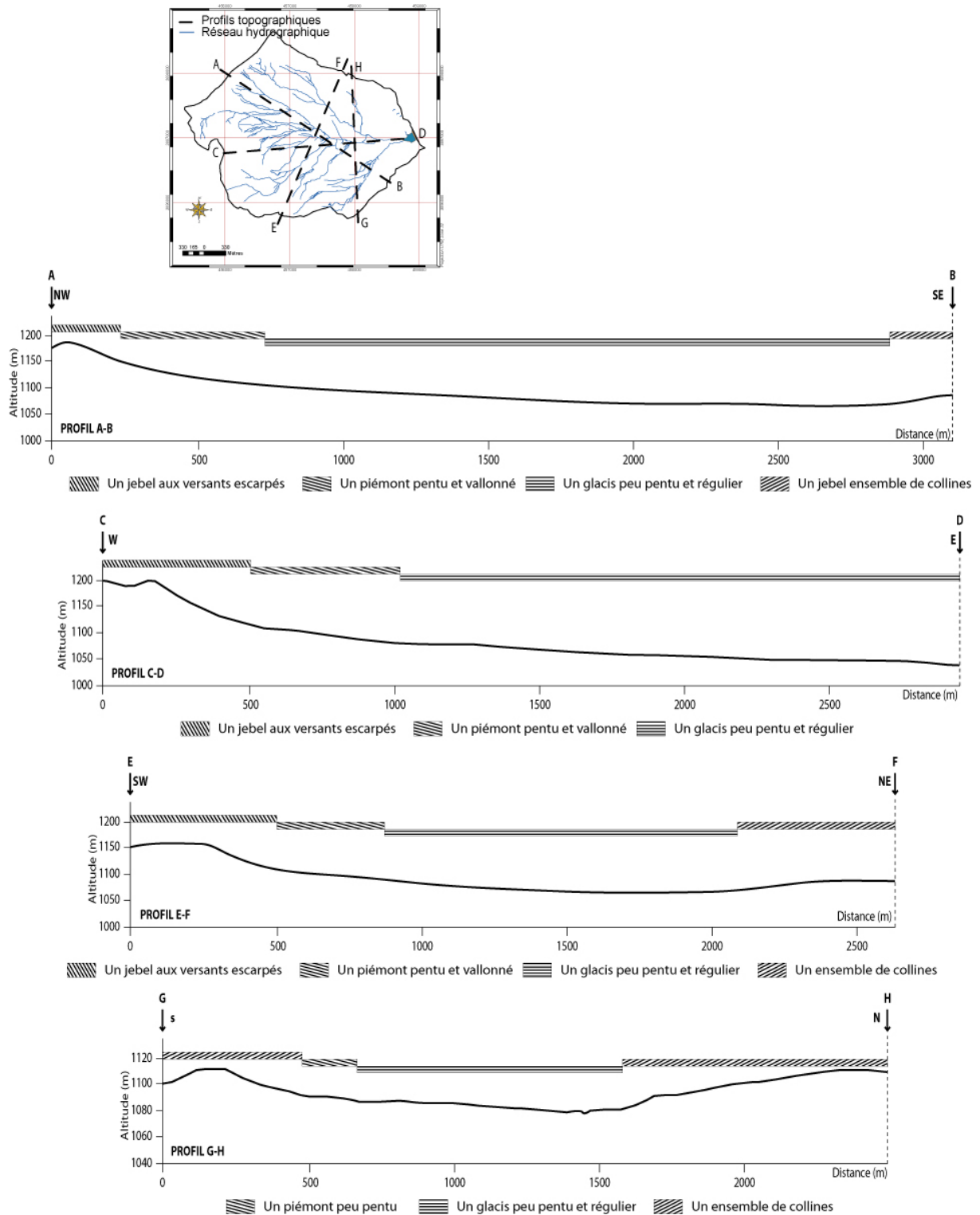


Figure 4.14 : Profils représentatifs de l'organisation topographique du bassin versant d'Abdeladim.

Cette première description permet de définir les principaux ensembles topographiques et fournit ainsi les éléments utiles à la détermination des critères de classification des facettes topographiques qui y sont relevées. La classification retenue pour la typologie, parmi les 13 établies et présentées en figure 4.15, doit donc retranscrire les éléments suivants issus de l'analyse topographique :

- Une classe définie par le critère « *altitudes les plus élevées et les pentes les plus fortes* » traduisant des jebels qui ferment l'espace dans sa partie occidentale,
- Une classe définie par le critère « *altitudes et pentes moyennes* » traduisant des piémonts établis au pied des jebels,
- Deux classes définies par le critère *altitudes les moins élevées et pentes les moins fortes*, traduisant des variations survenant au sein du glacis,
- Deux classes définies par le critère « *altitudes et pentes moyennes mais opposées par les orientations* » traduisant respectivement des collines fermant le bassin versant au nord et au sud.

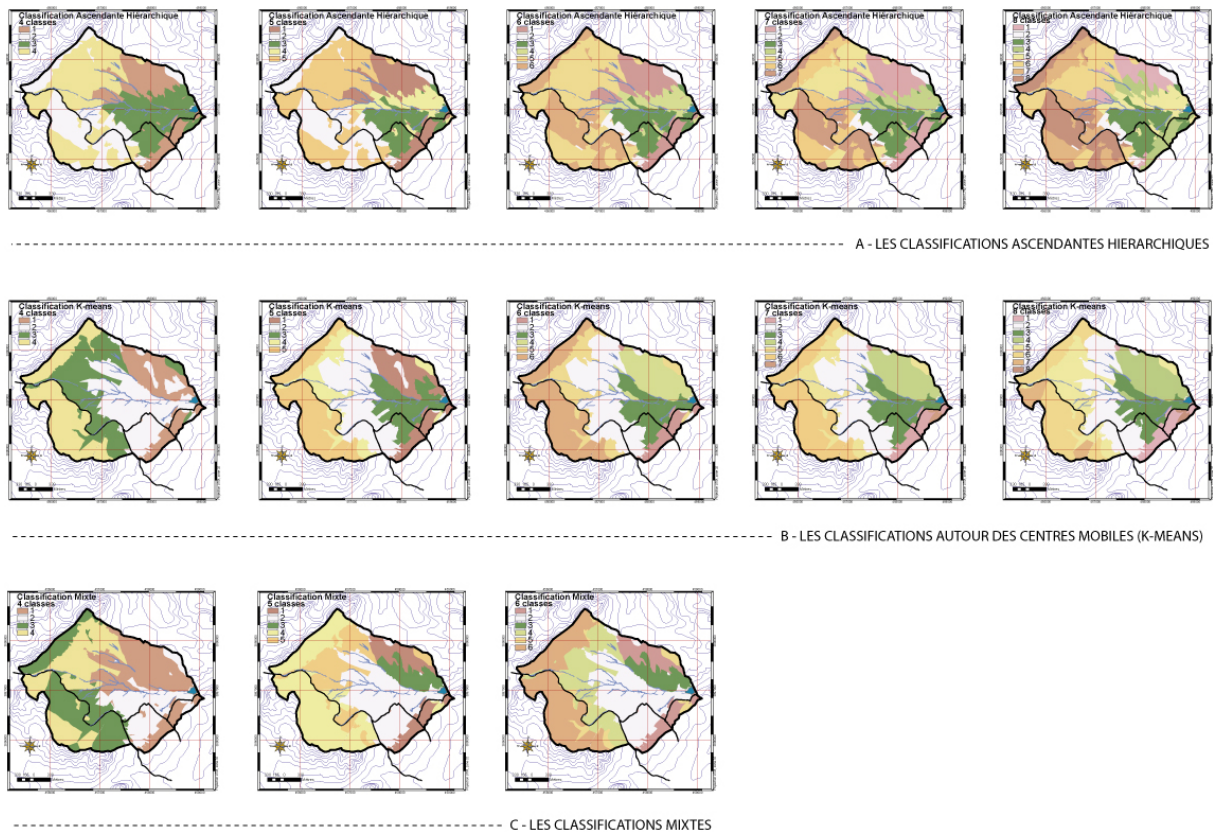


Figure 4.15 : Les 13 scénarios faisant varier la méthode de classification et le nombre de classes en vue d'établir une typologie des facettes topographiques sur le bassin versant d'Abdeladim.

(Source : scénarios établis d'après de travail de terrain de Olfa Riahi, 2003)

Au regard des 13 cartes établies en fonction des différentes techniques de classification (figure 4.15), il s'avère que peu d'entre elles permettent de faire ressortir correctement les éléments énoncés précédemment. En effet, les groupements réalisés par l'intermédiaire des CAH (classifications ascendantes hiérarchiques ; A de la figure 4.15), quel que soit le nombre de classes testées, ne conviennent guère. Ils mettent en effet trop l'accent sur la variable orientation par rapport à la pente et à l'altitude. De ce fait, ils ne sont que peu représentatifs de l'organisation du relief dans ce paysage. Les CAH sont donc retirées directement de l'analyse.

D'autres classifications peuvent aussi être éliminées car elles réalisent des groupements abusifs entre les facettes de glacis et les facettes de piémont (K-means 4 et 8 classes, classification mixte 4 et 5 classes), entre les facettes de glacis et les facettes de jebels

(classification mixte 4, 5 et 6 classes), ou encore entre les facettes de piémont et les facettes de jebels (classification mixte 5 et 6 classes). Enfin, la classification K-means 5 classes regroupe dans le même ensemble les facettes des collines fermant le bassin au nord et au sud. Comme il a été montré que ces ensembles s'opposent en terme d'orientation, cette classification peut par conséquent être aussi retirée.

Du fait de ces multiples éliminations il ne reste de disponibles pour la typologie des facettes topographiques que les groupes proposés par les K-means 6 et 7 classes. Ces deux classifications entrent parfaitement dans les critères établis précédemment et distinguent correctement les sous ensembles topographiques inscrits dans cet espace. Elles sont en outre très proches au niveau des ensembles qu'elles proposent et ne diffèrent que pour quelques facettes topographiques. Aussi, devant le peu de différences constatées et dans un souci d'être le plus synthétique possible, c'est la classification de type K-means décrivant 6 ensembles topographiques qui est retenue et qui est utilisée pour la typologie des facettes topographiques sur le bassin versant d'Abdeladim.

IV.3.1.2 - Classification retenue et typologie des facettes topographiques.

C'est donc à partir des 6 classes définies par la classification de type K-means que s'établit la typologie des facettes topographiques. Si quelques artéfacts sont à signaler dans le résultat obtenu, celui-ci est tout de même très cohérent avec les différents types de relief rencontrés dans cet espace. Les quelques erreurs constatées sont d'ailleurs corrigées manuellement.

Cette typologie permet de distinguer des éléments relatifs à la forme des enveloppes topographiques et renvoie également aux dynamiques hydriques et érosives imputables à ces différents ensembles, même si ces dernières ne sont que succinctement présentées ici l'analyse fine des dynamiques du milieu naturel sera réalisée ultérieurement dans la partie III.

Nous présenterons ici l'analyse qui peut-être faite à partir des classes définies. Elle s'appuie sur la figure 4.16 qui représente la classification retenue et corrigée.

Le type 1 correspond à des facettes de collines fermant le bassin versant dans sa partie sud orientale. Ce premier ensemble représente environ 6 % de la surface totale du bassin versant. Il est occupé par 23 facettes topographiques d'une superficie moyenne de 1,8 hectares. L'altitude moyenne est de 1067 m pour une dénivellation totale de 40 m. Globalement orientées vers le nord-ouest, les pentes peuvent atteindre localement 9°, même si la pente moyenne est plus modeste (4°). Ceci est dû à la nature composite de cet ensemble topographique : l'ensemble décrit comme "collines" rassemble en fait un petit jebel (culminant à 1082 m) marqué par des profils de pentes convexo-concaves et des inclinaisons relativement fortes puis par un "piémont" aux pentes rectilignes dans lequel des petits cours d'eau temporaires s'encaissent légèrement. Ce piémont est en outre au contact avec le glacis figurant dans le type 6.

Ce premier ensemble est entièrement boisé par une forêt clairsemée de pins d'Alep. La faiblesse des couvertures végétales conduit à une activité érosive relativement importante qui entraîne un décapage progressif des sols ne laissant en place qu'un pavage d'éléments grossiers de cailloux et graviers. Le ruissellement qui se forme à la surface de cet ensemble est de nature diffuse sur le jebel. Celui-ci se concentre dans sa concavité basale, marquant la topographie par la formation de têtes de ravin qui remontent progressivement sur ses flancs. Sur le piémont, les traces d'écoulements concentrés, orientées vers le nord-ouest marquent l'espace en traçant des ravines faiblement encaissées raccordées, en amont, aux têtes de ravin établies au pied du jebel. Ces incisions donnent un aspect légèrement vallonné à l'ensemble. Entre ces lignes de concentration des eaux, un ruissellement diffus s'établit.

Le type 2 correspond aux 44 facettes qui forment l'ensemble de collines fermant le bassin versant dans sa partie nord-est. Ce type occupe une superficie totale de 97 hectares, soit environ 17 % de la surface totale du bassin versant. Cet ensemble est globalement similaire au premier type en terme d'altitude puisqu'il culmine à 1090 m. Son altitude moyenne s'établit aux alentours de 1064 mètres et sa dénivellation totale est de 42 mètres. Les pentes en revanche affichent des inclinaisons plus modestes (maximum de 7 ° pour une moyenne de 3°). Mais ce qui les oppose le plus nettement est l'orientation de leurs pentes, ces deux ensembles se faisant face. C'est d'ailleurs ce paramètre qui permet leur différenciation statistique. Des différences apparaissent aussi sur le plan qualitatif. Les facettes du type 2 présentent en effet des profils essentiellement convexes qui lui donnent un aspect massif. Les collines ne forment d'ailleurs qu'un bloc qui se rattache directement au glacis, sans passer par un piémont. Si cet espace est occupé, dans sa plus grande majorité, par un boisement clairsemé de pins d'Alep ses marges donnent lieu à des activités agricoles. Elles sont généralement mises en valeur par des cultures céréalières non irriguées ou sont laissées en jachères. Du point de vue des dynamiques érosives globales, ce second ensemble est soumis à une ablation qui se traduit spatialement par un décapage aréolaire conduisant à un pavage d'éléments grossiers en surface. Quelques incisions peu profondes relatives aux secteurs où l'eau a tendance à se concentrer sont également à signaler. Ces dernières sont d'ailleurs plus marquées dans les parties aval, à proximité du contact avec le glacis.

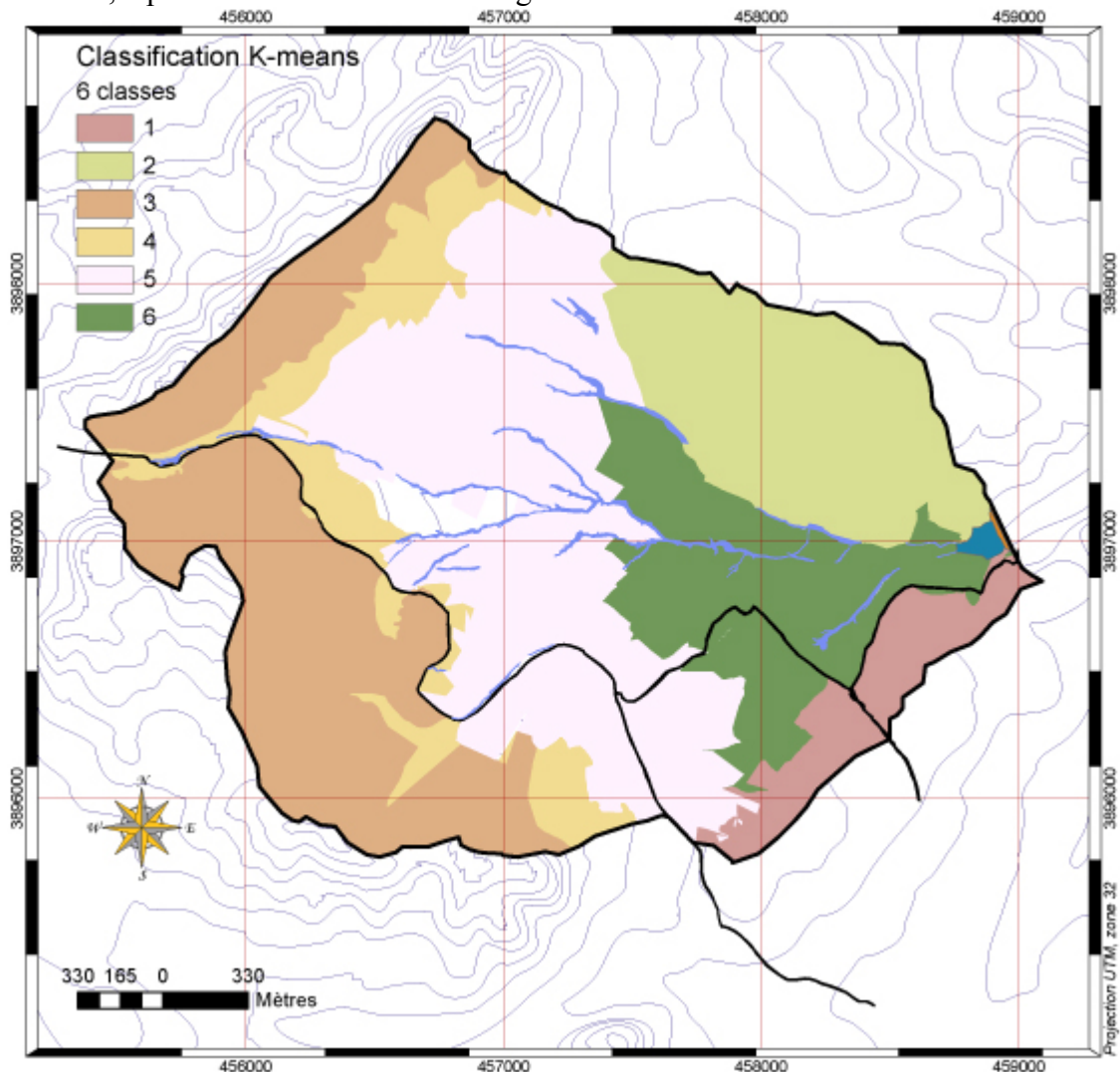


Figure 4.16 : Les types de facettes topographiques du bassin versant. Résultat corrigé, obtenu après application d'une classification autour des centres mobiles de type K-means.

Le troisième type regroupe les 17 facettes constitutives des jebels qui ferment le bassin versant sur sa partie orientale. L'ensemble ainsi formé s'étend sur 160 hectares soit 27 % de la superficie totale du bassin versant. Le troisième type correspond aux facettes les plus élevées et les plus pentues du bassin versant. A ce titre, son altitude et sa pente moyenne sont respectivement de 1140 m et 10°. Sa dénivellation maximale tourne aux environs de 80 m. L'ensemble ainsi défini est marqué par des sommets plats et des versants globalement convexes. Cet espace est en outre entièrement occupé par un boisement de pins d'Alep. Du point de vue dynamique, les fortes pentes et les formes du relief font que cet ensemble subit une forte érosion aréolaire qui ne laisse en place qu'un pavage grossier à la surface du sol. En outre, des formes de concentration du ruissellement sont aussi à relever même si les entailles imprimées par ce processus érosif ne marquent pas de manière significative le paysage.

Le quatrième type établi correspond aux 85 facettes topographiques qui forment le piémont situé au contact entre le jebel occidental décrivant le type 3 et le glacis du type 5. Contrairement à tous les autres ensembles, ce piémont est discontinu. Il est d'ailleurs plus conséquent au nord-ouest, où il forme un bloc cohérent, qu'au sud-ouest où seuls quelques lambeaux apparaissent parfois. Cet ensemble occupe toutefois près de 10 % de la surface totale du bassin versant soit une superficie d'environ 55 hectares. Son altitude moyenne est de 1110 mètres pour une dénivellation d'une quarantaine de mètres environ. Cet ensemble se rapproche du premier type décrit en ce qui concerne l'inclinaison de ses pentes : une moyenne de 4° et un maxima local de 7°. Malgré cette similarité, les facettes topographiques du type 4 sont marquées par une importante présence de traces d'érosion linéaire. Les profondes incisions qui s'y inscrivent et qui se trouvent à la suite directe des linéaires érosifs du jebel façonnent le paysage en lui donnant un aspect saccadé. Ces actions linéaires sont en outre relayées par un ruissellement en nappe amplifié par la faiblesse des couvertures végétales qui conduit là encore à la mise en place d'un pavage caillouteux à la surface du sol.

Les facettes des types 5 et 6 enfin correspondent au glacis qui occupe la partie centrale du bassin versant. Leur superficie est de 150 et 90 hectares respectivement. Ces deux ensembles couvrent ainsi près de 41 % de la surface totale du bassin versant. Les 138 facettes du type 5 ont une altitude moyenne de 1084 mètres pour une pente comprise entre 0° et 6°. La pente moyenne n'est toutefois que de 2° ce qui dénote d'un ensemble globalement plat. Ce paramètre permet de séparer les facettes du type 5 et celles du type 6. En effet, si les extremums sont similaires, la pente moyenne du type 6 n'est que de 1° ce qui traduit un aplatissement de l'ensemble à mesure que l'on progresse vers l'aval. Cette caractéristique se retrouve d'ailleurs en ce qui concerne les dynamiques érosives. Si la tendance est à l'accumulation généralisée des matériaux érodés sur les jebels et les collines, les facettes s'inscrivant dans le type 5 sont marquées par des traces d'érosion en nappe alors que les facettes du type 6 présentent plus de formes d'accumulation que de formes d'ablation. Ce phénomène, directement lié à ce changement d'inclinaison de la pente entre les deux parties du glacis, se retrouve bien délimité spatialement dans chacun des types définis.

Outre l'érosion aréolaire, le glacis est aussi marqué par une forme d'érosion linéaire tout à fait typique de ce type de structure : les oueds s'encaissent très profondément, formant des entailles aux rebords abrupts pouvant atteindre une dizaine de mètres de profondeur. Si au départ les processus qui conduisent à leur formation sont directement liés au ruissellement concentré, les dynamiques actuelles qui entraînent leur élargissement sont plus liées aux mouvements de masse qu'à l'érosion hydrique à proprement parler : sapement de berge, effondrements gravitaires... Là encore les deux ensembles définis par la classification statistique traduisent de phénomènes quelque peu différents sur le terrain : les entailles, très

marquées dans les facettes topographiques du type 5 sont plus superficielles dans les facettes du type 6.

IV.3.2 - Le bassin versant de Kamech.

Le second bassin abordé est celui de Kamech. De forme rectangulaire et partagé en deux sous ensembles à peu près équivalents en terme de superficie, ce bassin versant présente un encaissement important et une dissymétrie remarquable entre les versants situés à droite et à gauche de l'oued principal. Le système de pente qui en découle est particulièrement complexe, mais il montre des structures qui se répètent à l'identique ce qui simplifie la compréhension de son organisation.

IV.3.2.1 - Les critères de sélection des types de facettes.

La justification des critères de sélection de la classification sur laquelle est établie la typologie des facettes topographiques pour le bassin versant de Kamech repose, comme pour Abdeladim, sur l'analyse conjointe des résultats de l'ACP et des profils topographiques représentatifs de l'agencement du paysage.

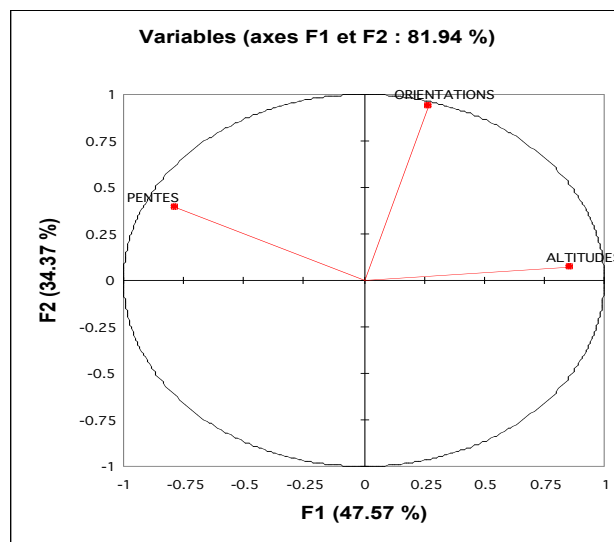


Figure 4.17 : Analyse en Composantes Principales ; projection des variables (altitude, pente et orientation) sur les axes factoriels pour le bassin versant de Kamech.

Le graphique de la figure 4.17 montre les résultats de la projection des variables sur les axes factoriels. Il permet là aussi de comprendre quels sont les facteurs déterminants dans l'organisation topographique du bassin versant. Ainsi sur l'axe F1, expliquant environ 50 % de l'inertie du nuage de points, s'opposent les pentes et les altitudes. Ces deux variables, qui contribuent respectivement à la construction de l'axe à hauteur de 43,5 % et 51,5 %, montrent l'opposition qui existe dans cet espace : les facettes les plus élevées en altitude sont aussi les moins pentues et réciproquement, les facettes les plus pentues se localisent dans les parties aval du relief. Ce premier constat qui traduit l'inversion topographique de ce paysage, permet

la définition de la première composante et entre de ce fait dans les critères de différenciation des ensembles topographiques.

Les orientations définissent à elles seules la seconde composante explicative de l'agencement des facettes. Fortement corrélée à F2, cette seconde composante permet de différencier efficacement les deux versants de l'oued d'une part et les éventuelles variations internes à chaque sous-ensemble défini. Ce second point est toutefois sujet à discussion : il s'avère en effet qu'un même ensemble topographique comme par exemple une succession latérale de collines arrondies présente des facettes topographiques qui s'opposent deux à deux du point de vue de l'orientation mais qui s'inscrivent dans un même contexte morphodynamique. Ce critère doit donc être minimisé dans l'analyse afin de ne pas séparer des ensembles cohérents

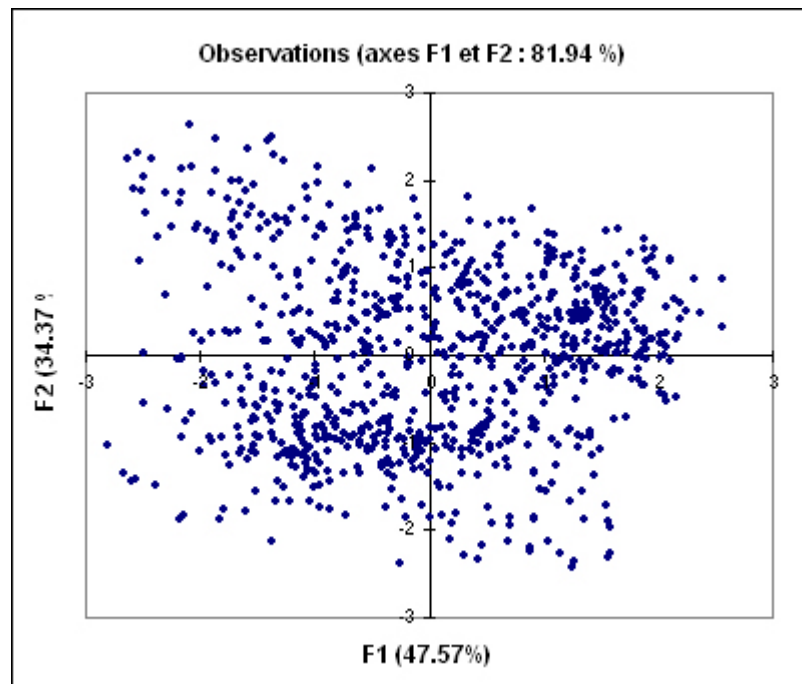


Figure 4.18 : Analyse en Composantes Principales ; projection des individus (facettes topographiques) sur les axes factoriels pour le bassin versant de Kamech.

Malheureusement la complexité topographique du bassin versant de Kamech ne permet pas, comme c'est le cas pour Abdeladim, d'extraire des groupes provisoires en lecture directe du graphique représentant la projection des individus sur les axes factoriels (figure 4.18). Il est donc nécessaire de se reporter directement à l'étude des profils topographiques pour en comprendre l'agencement et établir les critères pertinents à retenir lors de la classification.

Afin de faciliter l'explication de l'agencement des facettes topographiques dans cet espace, il est utile de se reporter à cinq profils : un profil transversal (figure 4.19) montrant comment se répartissent les facettes topographiques suivant un axe perpendiculaire aux linéaires géologiques et quatre profils longitudinaux (figure 4.20 et 4.21) permettant de comprendre les différents agencements en place dans le sens des couches géologiques. La structure du bassin versant de Kamech est en effet telle qu'il est impossible de saisir son organisation sans avoir recours à l'analogie avec la nature géologique sous-jacente qui façonne ce relief monoclin al inversé.

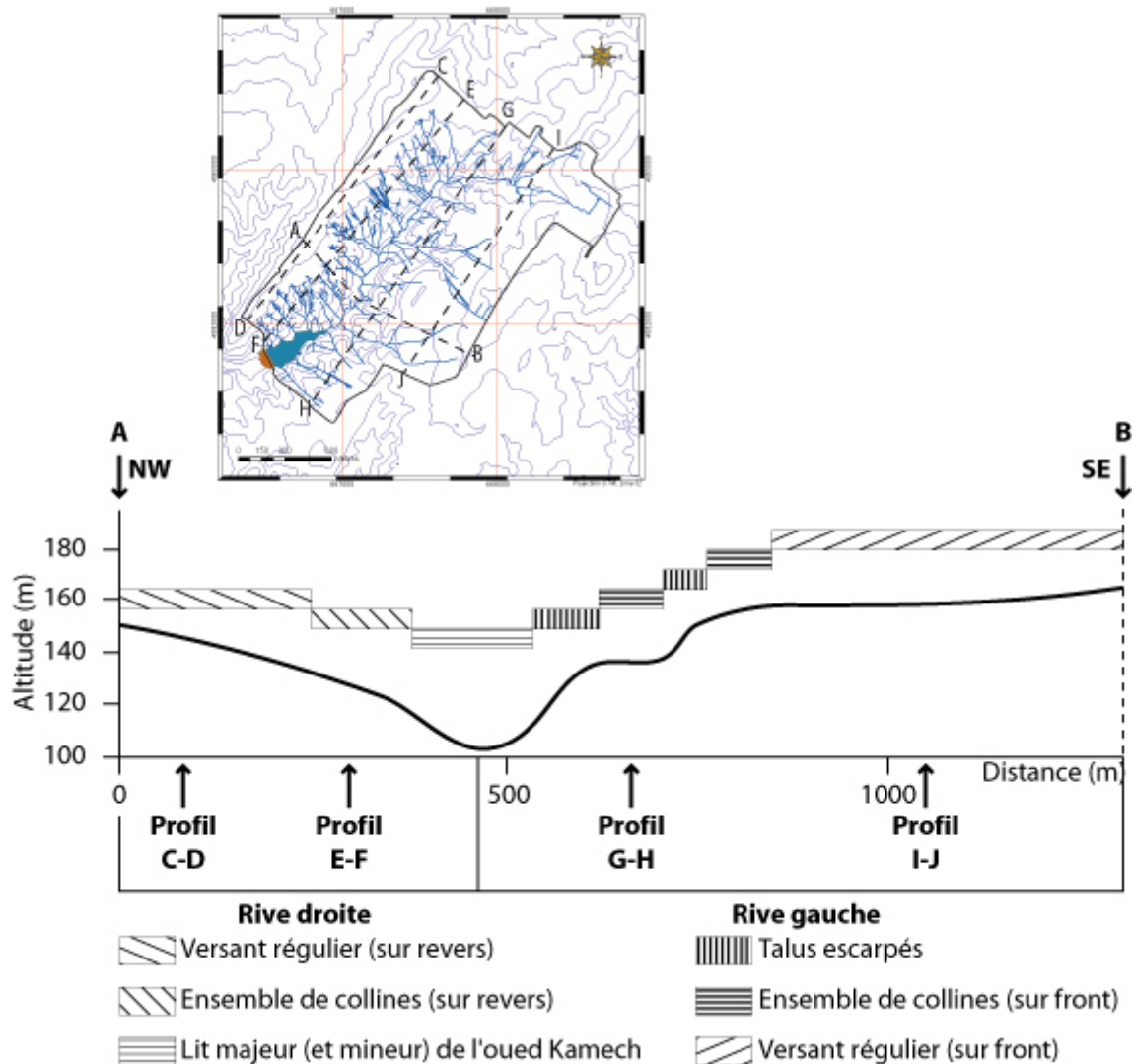


Figure 4.19 : Agencements topographiques suivant l'axe perpendiculaire aux couches géologiques.

La figure 4.19 qui montre le profil topographique tracé suivant un axe perpendiculaire aux couches géologiques met en avant les principales caractéristiques de la structure du bassin-versant sans toutefois permettre de comprendre l'organisation interne de chacune d'elles. L'espace se subdivise en deux grands ensembles qui prennent place de part et d'autre de l'oued principal. Celui-ci marque en effet une séparation nette entre les versants de la rive droite, développés sur le revers des couches géologiques et les versants de la rive gauche, structurés par les fronts de ces dernières. Six systèmes de pente sont ainsi mis en évidence : deux en rive droite, trois en rive gauche et un situé à l'intermédiaire entre ces deux grands ensembles. Aussi, du nord-ouest vers le sud-ouest se succèdent des unités marquées par des différences notoires dans les formes topographiques en place.

A l'amont de la rive droite apparaît un versant régulier globalement orienté vers le sud-est développé sur le revers géologique d'un épais banc de marnes, limité à l'amont et à l'aval par des affleurements gréseux qui marquent respectivement la limite du bassin versant et le passage au second système de cet ensemble. Ceci se traduit spatialement par la mise en place d'une ligne où les écoulements se concentrent suffisamment pour former des entailles conséquentes. Ce premier ensemble est représenté par le profil C-D (figure 4.20).

Apparaît ensuite un ensemble de collines (figure 4.20) séparées par des oueds plus ou moins encaissés (profil E-F). Les pentes, plus marquées que dans le cas précédent, correspondent aux flancs des collines qui représentent autant de facettes topographiques opposées deux à deux en terme d'orientation (nord-est / sud-ouest et sud-ouest / nord-est). Les axes de concentration des écoulements en revanche s'établissent au pied de ces collines et s'orientent généralement dans le même sens que le premier ensemble décrit. Cette seconde unité est limitée à l'aval par le lit majeur de l'oued principal.

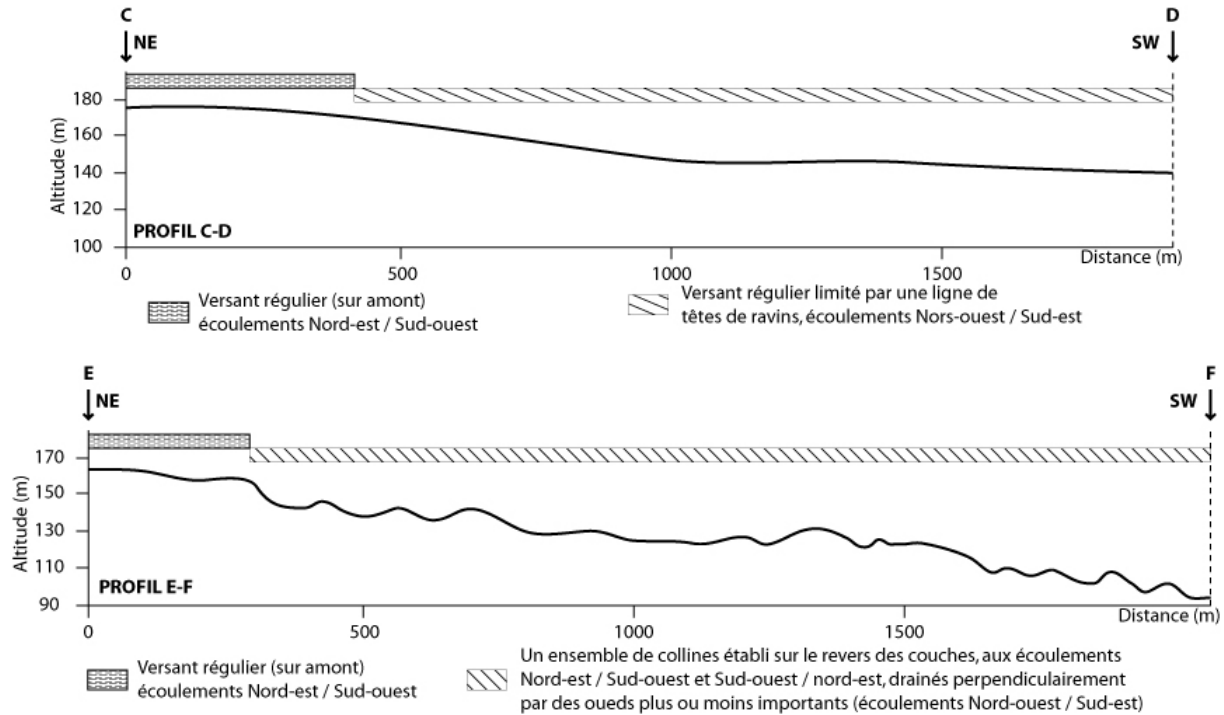


Figure 4.20 : profils longitudinaux développés sur le revers des couches géologiques (versant rive droite).

Le lit majeur de l'oued principal, correspondant au troisième type topographique noté sur le profil A-B (figure 4.19), présente la particularité d'être formé de facettes topographiques relativement peu pentues qui se font face de part et d'autre de l'oued. Les écoulements à la surface de celles-ci se font soit du nord-ouest vers le sud-est soit du sud-est vers le nord-ouest. En outre, cette entité ne présente pas de continuité topographique longitudinale. Différents blocs s'individualisent, entrecoupés par les lits mineurs des nombreux cours d'eau temporaires établis sur les rives droite et gauche. Cet ensemble assure la transition entre les deux versants principaux de ce paysage. A ce titre, il se localise sur un affleurement de marnes qui représente à la fois le front de la couche géologique, pour les facettes localisées directement sur sa rive gauche, et au revers de cette même couche, dès lors que les facettes se trouvent immédiatement sur sa rive droite.

En continuant la progression vers le sud-est deux structures emboîtées apparaissent alternativement. La première de ces structures (figure 4.19) représente un talus en forte pente, qui apparaît dès qu'un banc de grès, même de faible développement, affleure en surface. Les écoulements qui prennent forme sur ces derniers s'orientent sud-est / nord-ouest. Ces talus forment un ensemble longitudinal plus ou moins continu, parfois entrecoupé par les lits mineurs de cours d'eau transversaux formés plus en amont, lorsque ceux-ci s'encaissent suffisamment. Cette caractéristique confère à l'ensemble un aspect irrégulier donnant l'impression d'une succession de croupes arrondies et d'ensellements le long des affleurements gréseux.

Le lit majeur de l'oued principal, correspondant au troisième type topographique noté sur le profil A-B (figure 4.19), présente la particularité d'être formé de facettes topographiques relativement peu pentues qui se font face de part et d'autre de l'oued. Les écoulements à la surface de celles-ci se font soit du nord-ouest vers le sud-est... soit du sud-est vers le nord-ouest. En outre, cette entité ne présente pas de continuité topographique longitudinale. Différents blocs s'individualisent, entrecoupés par les lits mineurs des nombreux cours d'eau temporaires établis sur les rives droite et gauche. Cet ensemble assure la transition entre les deux versants principaux de ce paysage. A ce titre, il se localise sur un affleurement de marnes qui représente à la fois le front de la couche géologique, pour les facettes localisées directement sur sa rive gauche, et au revers de cette même couche, dès lors que les facettes se trouvent immédiatement sur sa rive droite.

En continuant la progression vers le sud-est deux structures emboîtées apparaissent alternativement. La première de ces structures (figure 4.19) représente un talus en forte pente, qui apparaît dès qu'un banc de grès, même de faible développement, affleure en surface. Les écoulements qui prennent forme sur ces derniers s'orientent sud-est / nord-ouest. Ces talus forment un ensemble longitudinal plus ou moins continu, parfois entrecoupé par les lits mineurs de cours d'eau transversaux formés plus en amont, lorsque ceux-ci s'encaissent suffisamment. Cette caractéristique confère à l'ensemble un aspect irrégulier donnant l'impression d'une succession de croupes arrondies et d'ensellements le long des affleurements gréseux.

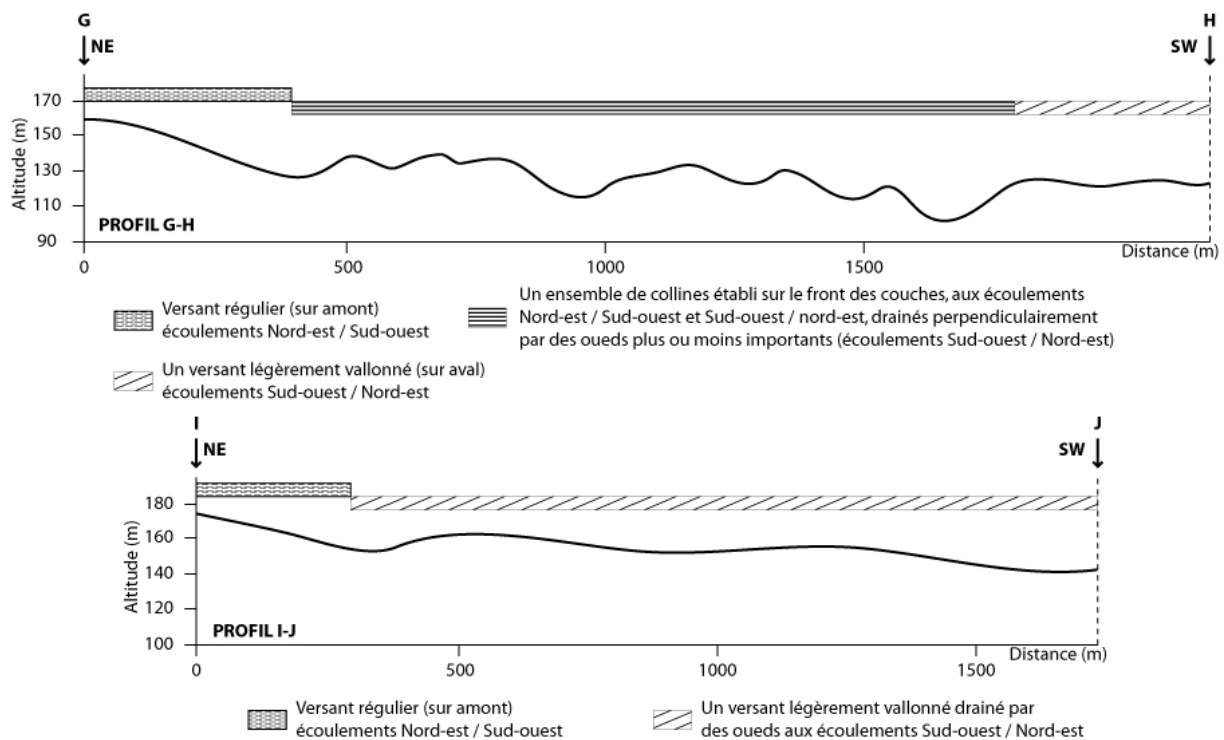


Figure 4.21 : Profils longitudinaux développés sur le front des couches géologiques.
(Versant rive gauche).

Entre ces talus une succession longitudinale de collines se développe sur les affleurements marneux. Celles-ci sont représentées sur le profil G-H (figure 4.21). Comme pour les collines de la rive droite, les écoulements qui se forment sur ces entités s'orientent soit sud-ouest / nord-est, soit nord-est / sud-ouest. Ils sont eux-mêmes perpendiculaires aux drains principaux

formés plus en amont, soit sur le talus directement en amont, soit sur le versant régulier formant la dernière entité du bassin versant selon l'axe transversal (figure 4.19).

L'alternance constatée se répète deux fois de manière quasi-identique (figure 4.19), puis au-delà d'un troisième talus moins marqué s'établit un versant régulier, peu pentu et globalement orienté sud-est / nord-ouest. Ce dernier versant est représenté par le profil I-J de la figure 4.21. Son aspect vallonné, imputable aux axes de concentration des eaux qui s'encaissent très légèrement dans cet ensemble, est plus marqué dans sa partie aval.

Enfin, un dernier ensemble mérite d'être signalé. Celui-ci apparaît en première partie de tous les profils longitudinaux présentés dans les figures 4.20 et 4.21. Il correspond là encore à un *versant régulier* raccordant l'ensemble des profils décrits jusqu'à présent. Cette entité, dont les directions d'écoulement s'orientent nord-est / sud-ouest se place perpendiculairement aux profils décrits et correspond de ce fait à la limite amont du bassin versant. Il apparaît comme un accident dans l'agencement classique de cet espace. Sa formation est essentiellement liée à une série d'affleurements gréseux probablement plus résistants qui se retrouvent en position dominante dans le paysage. Ils contribuent à élever et à renforcer ce dernier, limitant par la même occasion l'érosion différentielle des marnes présentes entre ces affleurements. Toutefois, si cette entité s'oppose aux autres en matière d'orientation, elle est similaire à ces derniers en ce qui concerne les systèmes de pentes (et les organisations verticales). Par conséquent, il n'est pas nécessaire qu'elle fasse l'objet d'un type particulier.

A l'issue des analyses réalisées, il est possible de déterminer précisément les critères à retenir pour la classification des facettes topographiques sur cet espace. Il s'agit donc de définir :

- Deux classes représentant les facettes « *d'altitudes élevées et de pentes faibles, opposées en terme d'orientation* ». Ces deux classes correspondant aux versants amont gauche et amont droit.
- Une classe représentant « *les pentes les plus fortes pour des altitudes relativement modestes.* » Cette classe correspondant aux facettes de talus.
- Deux classes pour lesquelles les « *pentent sont fortes et marquent des oppositions d'orientation.* » Ces deux classes permettant de définir les sous ensembles de collines situées sur les deux rives du bassin versant.

Les treize scénarios établis pour Kamech sont présentés en figure 4.22. Comme pour Abdeladim, la sélection des scénarios est réalisée par comparaison directe et par confrontation avec les critères de sélection issus de l'analyse réalisée précédemment. A la vue des treize scénarios, il est directement possible d'en retirer huit : ces derniers mettent en effet trop l'accent, comme ce fut le cas pour Abdeladim, sur les différences d'orientations entre les facettes topographiques. Or, comme cela a été précisé, ces distinctions ne doivent permettre que la différenciation d'ensembles opposés de facettes topographiques mais ne doivent en aucun cas séparer dans des groupes différents des facettes similaires, proches spatialement mais opposées en terme de direction d'écoulements. De ce fait, toutes les CAH, les K-means 6, 7 et 8 classes ainsi que la classification mixte avec 6 classes sont à retirer. Les secondes classifications à exclure sont celles qui ne permettent pas assez de distinctions dans les groupes qu'elles définissent et qui, par conséquent, procèdent à des regroupements abusifs de facettes différentes dans des ensembles communs. Sont ainsi éliminées les classifications : K-means 4 classes et mixte 4 et 5 classes. Celle-ci fait parfaitement ressortir les critères de sélection définis plus avant dans le paragraphe. Toutefois, quelques petites erreurs et quelques

oublis sont à signaler. Ils nécessitent la mise en place, manuellement d'une sixième classe pour que l'analyse soit la plus juste et la plus précise possible (voir encadré ci-après).

CLASSIFICATIONS NUMERIQUES, CORRECTIONS MANUELLES

Comme dans tous traitements automatisés, quelques artéfacts sont à signaler. Ceux-ci réfèrent à des mauvaises attributions de facettes à des groupes qui ne leur correspondent pas nécessairement. Les erreurs de ce type sont dues à deux raisons

- *Certaines facettes présentent des caractéristiques d'inclinaison de pente ou d'orientation qui les rapprochent numériquement d'un type autre que celui auquel elles appartiennent normalement. Ce cas concerne généralement des facettes topographiques de taille moyenne qui se retrouvent essentiellement dans les ensembles de collines décrits précédemment. D'ailleurs la réattribution ne se fait qu'entre ces deux types. Mais elle est nécessaire dans un souci de continuité spatiale.*
- *Le second cas est plus problématique car il met l'accent sur les problèmes de résolution entre les différentes sources de données disponibles. Comme cela est précisé dans le premier paragraphe de ce chapitre, une facette topographique doit avoir une longueur (dans le sens de la plus grande pente) d'au moins 10 mètres. Or certaines facettes relevées, concernant essentiellement les facettes de talus ne répondent pas à ce critère. Elles n'en sont pas moins indispensables à l'analyse et doivent de ce fait figurer dans la cartographie. Le problème qui se pose cependant est que leur courte longueur introduit un artéfact, que nous nommerons « effet de bordure », lié à la résolution du MNT à partir duquel sont attribués les valeurs d'altitude, de pente et d'orientation : comment être sûr que la facette tracée tombe parfaitement sur les pixels qui la représentent théoriquement sur le MNT lorsque celle-ci à une longueur au plus égale à deux fois la résolution de ce dernier ? C'est tout simplement impossible, vis-à-vis des outils actuels, car il n'est pas permis d'espérer un tracé parfait des unités relevées sur le terrain. Les traitements numériques souffrent alors de cette imprécision en attribuant des valeurs « fausses » à ces ensembles. Il est toutefois important de noter que cet « effet de bordure » existe pour l'ensemble des facettes cartographiées, mais il est moins sensible lorsque ces dernières ont une taille importante car il est sûr, dans ce cas, qu'elles couvrent une majorité de pixels qui leur correspond réellement.*

Outre ces erreurs, quelques facettes très particulières doivent aussi être distinguées car elles impliquent des comportements dynamiques singuliers : facettes de badlands, de têtes de ravins... Dans ce cas, il ne s'agit donc pas d'une réattribution manuelle d'une classe à une autre, mais de la définition d'une nouvelle classe qu'aucune des méthodes de classification testées n'a su individualiser. Ces problèmes mettent d'ailleurs l'accent sur le fait qu'il faille parfaitement connaître l'espace que l'on étudie quand on souhaite lui appliquer des traitements numériques et automatiques. Sans cette connaissance du terrain, certaines de ses finesses risquent de passer inaperçues alors qu'elles impliquent des conséquences qui ne sont pas toujours négligeables sur le plan organisationnel ou dynamique. Quoi qu'il en soit, ces mauvaises attributions sont corrigées manuellement afin que les types de facettes établis puissent accueillir les organisations verticales du milieu sans entraîner de contresens lors de la synthèse paysagère et de l'établissement de la carte des segments de paysages. C'est donc sur 6 classes, reposant sur les ensembles définis pas la classification K-means 5 classes, que la typologie des facettes topographiques de Kamech est établie.

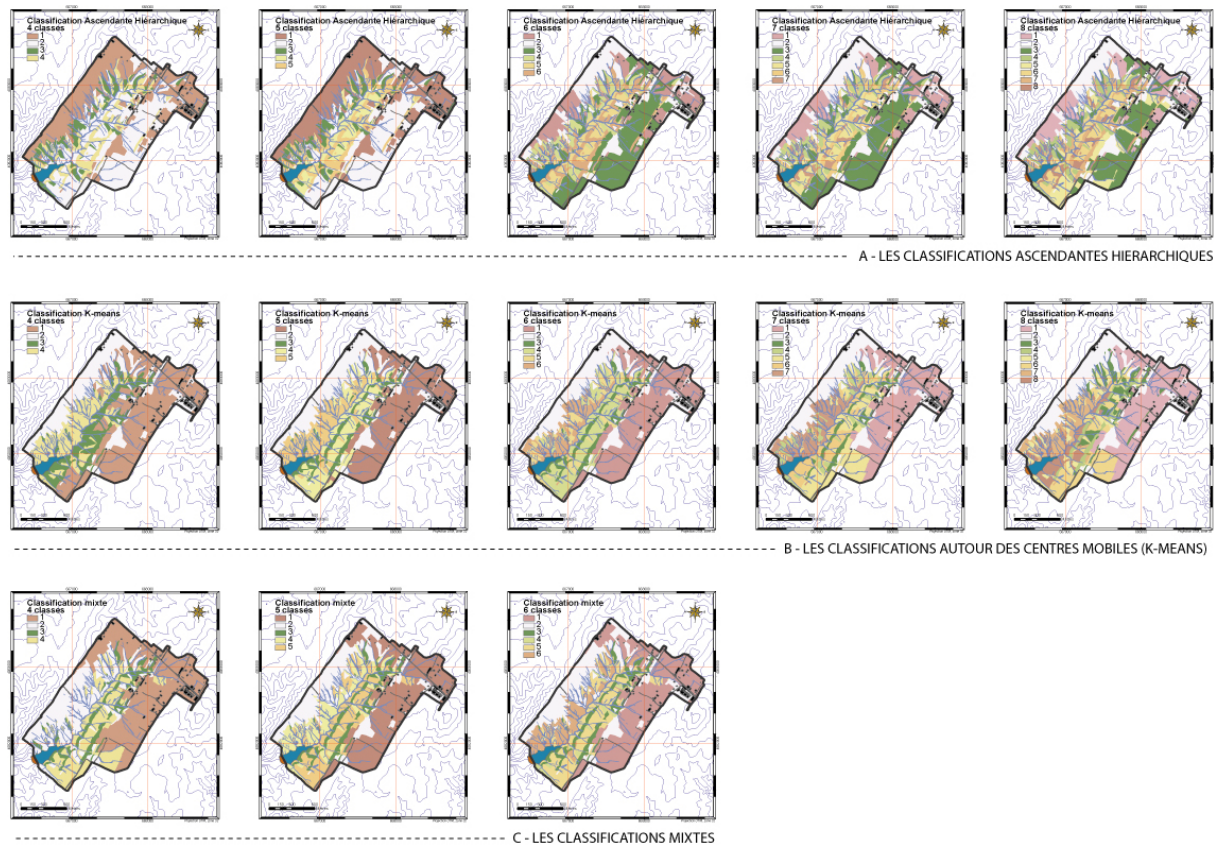


Figure 4.22 : Les treize scénarios faisant varier la méthode de classification et le nombre de classes en vue d'établir une typologie des facettes topographiques sur le bassin versant de Kamech.

IV.3.2.2 - Classification retenue et typologie des facettes topographiques.

La classification retenue est présentée en figure 4.23, c'est à partir d'elle que les types de facettes topographiques de Kamech sont décrits et analysés.

Le premier type identifié correspond aux versants réguliers localisés à l'amont du bassin versant en rive gauche. Cet ensemble regroupe 236 facettes topographiques qui avec une altitude moyenne de 164 mètres représentent l'ensemble le plus élevé en altitude. Globalement orientées vers le nord-ouest, ces facettes développent une pente relativement faible ($5,3^\circ$ en moyenne). La superficie totale de ce premier type est d'environ 82 ha, soit 35 % de la surface totale du bassin versant. Cet ensemble présente des facettes globalement rectilignes même si quelques convexités sont à signaler localement. Du fait de leur forme et de la nature de leur substrat, elles sont soumises à une importante activité agricole, répartie en deux composantes : agriculture maraîchère et agriculture céréalière, parfois mécanisée.

Si les écoulements sont majoritairement de nature diffuse, des axes de concentration des flux hydriques sont à noter. Ceux-ci prennent naissance très haut sur les versants mais ne connaissent pas dans cet ensemble d'encaissement vraiment remarquable. Ces axes de concentration sont toutefois importants car ils drainent de vastes surfaces ruisselantes. En outre, ils contribuent à façonner le paysage plus en aval dès lors qu'ils franchissent les ressauts gréseux par des *chuses* (gaps appalachiens) avant de rejoindre le cours d'eau principal encaissé dans le *sillon appalachien*. Du point de vue érosif, cet ensemble connaît une ablation aréolaire assez généralisée, même si une grande partie des sédiments détachés n'atteint pas les axes où l'eau se concentre et sont, par conséquent, redéposés dans cet ensemble. Cette caractéristique

est d'ailleurs à mettre en relation avec la faible inclinaison des pentes qui ne permet pas à l'eau d'acquérir l'énergie suffisante au transport des sédiments sur de grandes distances.

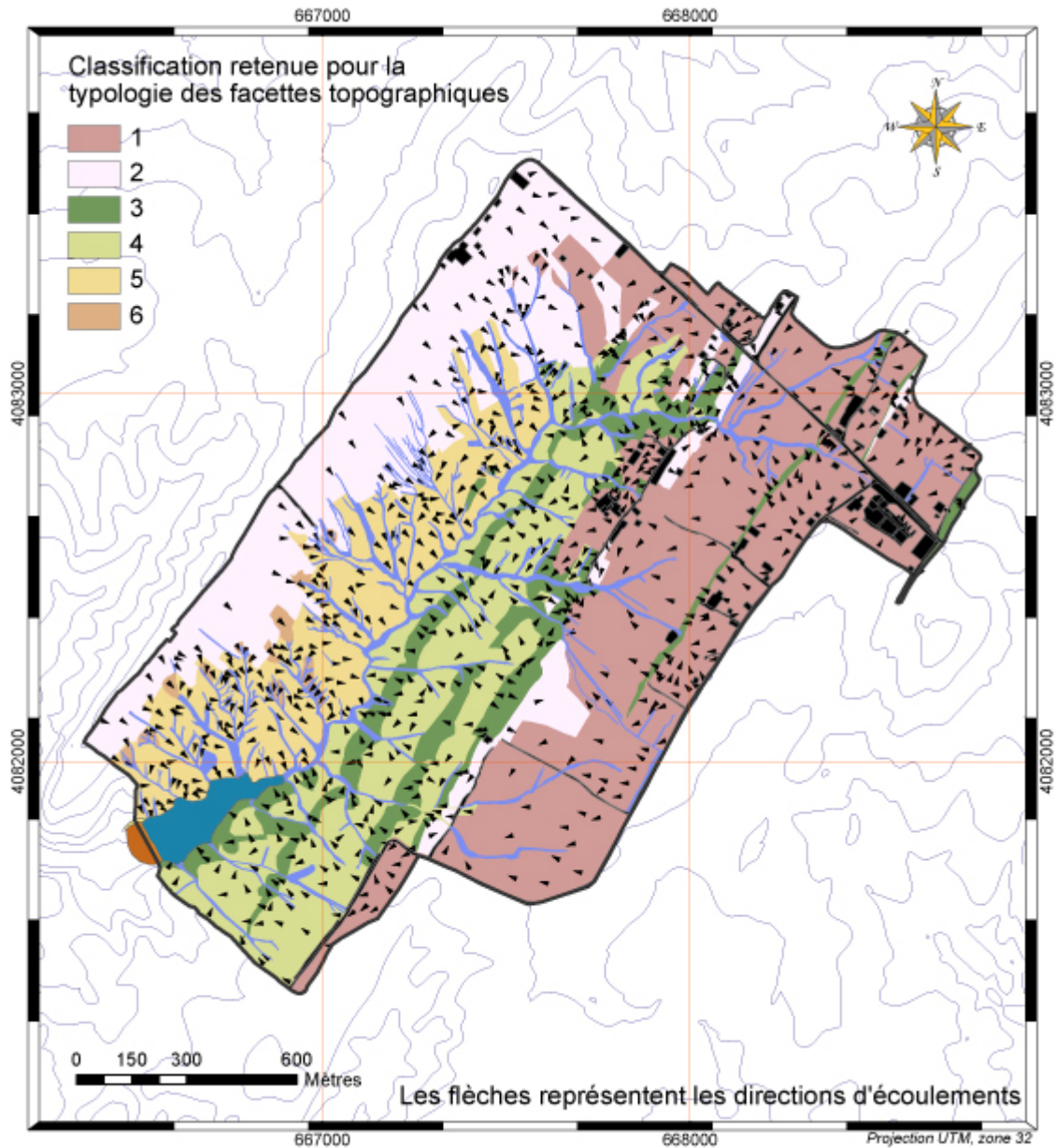


Figure 4.23 : Classification retenue (après corrections manuelle) pour la typologie des facettes topographiques de Kamech.

Le second type qui apparaît regroupe 115 facettes pour une superficie totale de 48 ha, soit environ 21 % de la surface du bassin versant. Il représente le pendant rive droite du type 1 établi en rive gauche. Son altitude moyenne, bien que plus modeste atteint tout de même 151 m. Sa pente moyenne se situe aux alentours de 6,5°. Ces deux ensembles répondent aux mêmes caractéristiques topographiques (*altitude élevée et pente faible*), mais ils s'opposent en terme d'orientation puisque les facettes du type 2 présentent des écoulements majoritairement orientés vers sud-est. Les facettes inscrites dans cet espace sont là aussi mises en valeur pour l'agriculture mais aucune forme de mécanisation n'est à signaler dans ce cas. Les parcelles agricoles qui s'y inscrivent, orientées dans le sens de la plus grande pente sont souvent trop

étroites et ne se prêtent pas à l'utilisation d'outils modernes de mise en valeur du sol. Les labours se font dans le sens de la pente à l'aide de charrues rudimentaires à traction animale. Le ruissellement qui prend forme dans cet ensemble est de nature diffuse et très peu d'axes de concentration sont à noter. Toutefois, celui-ci a tendance à se concentrer au pied de l'ensemble à l'endroit où se forme une ligne de tête de ravins marquant spatialement ce phénomène. Ces secteurs de concentration apparaissent toujours *au même moment* le long d'un axe longitudinal allant du nord-est vers le sud-est et qui marque la limite aval des facettes topographiques du type 2. Cet axe correspond en fait à un affleurement gréseux qui contribue à accentuer légèrement l'inclinaison de la pente. C'est d'ailleurs à partir de ces secteurs que les cours d'eau transversaux qui entaillent et façonnent *le relief de collines* groupé dans le type 5 prennent leur *source*. Les facettes du type 2 sont en outre plus sensibles à l'érosion hydrique des sols. Ceci se marque par la présence fréquente de rigoles dont l'action ablative est accentuée par le labour parallèle à la pente et par une inclinaison plus importante (par rapport au type 1) de cette dernière.

Enfin, il faut signaler la présence de facettes de type 2 incluses dans celles du type 1. Il ne s'agit pas, dans ce cas, d'une erreur de classification mais bel et bien d'ensembles développés sur le revers des couches géologiques : ces lieux, toujours situés à l'amont relatif d'un talus, correspondent à des contrepentes qui s'opposent à l'orientation générale des versants réalisée dans un cadre *normal*. L'élévation plus importante des talus dans ces endroits conduit au développement de formes caractéristiques des revers ainsi qu'il est possible de les observer sur les versants de la rive droite. Toutefois, la faible longueur de ces entités fait que des formes particulières d'organisations verticales s'y développent. De ce point de vue, la classification automatique les fait bien ressortir en tant que particularismes spatiaux, mais les segments qui viendront s'y inscrire présenteront nécessairement des divergences par rapport au type dans lequel elles se placent actuellement.

Un dernier élément est à signaler en ce qui concerne les deux types présentés jusqu'à maintenant : ceux-ci se rejoignent à l'amont du bassin versant pour former les versants réguliers qui ferment l'espace dans sa partie nord-est. Cet espace, de par son orientation pourrait donner lieu à un type particulier à lui seul. Toutefois ses caractéristiques qualitatives et quantitatives font qu'il se rapproche clairement des facettes du type 1 et 2. Et de ce point de vue les traitements automatiques ne se sont pas trompés en faisant bien ressortir les facettes dans l'ensemble qui leur convient le mieux.

Le troisième type regroupe quelques 165 facettes topographiques. Si ces dernières sont souvent de très petite taille (superficie moyenne de 0,15 ha) l'ensemble qu'elles forment couvre, avec une superficie totale de 23 ha, environ 10 % de la surface du bassin versant. Avec une altitude moyenne de 140 m et une pente située aux alentours de 14,6°. Les facettes regroupées dans cet ensemble correspondent au critère de sélection défini comme « *altitude faible mais pente très accentuée* ». Elles témoignent là encore de l'inversion caractéristique du relief lié à l'encaissement de l'oued principal dans un *sillon appalachien* développé sur des roches tendres. Ces ensembles présentent de ce fait un caractère continu dans le sens longitudinal, mais affichent une alternance transversale qui entraîne la répétition des formes induites de l'aval vers l'amont. En ce sens, ils ne forment pas un groupe continu à proprement parler. Les facettes qui s'inscrivent correspondent aux talus longitudinaux, apparentés à des barres appalachiennes, qui apparaissent en rive gauche dès qu'un banc de grès affleure. D'un point de vue structurel ces talus de forme convexo-concave se développent à l'aval d'affleurement de roches dures parfois très minces et sont de ce fait essentiellement établis sur des roches tendres. Leur pente est d'autant plus accentuée que le pendage du banc de grès est

redressé. D'une manière générale, ce sont les affleurements les moins conséquents qui donnent naissances aux formes les plus accentuées topographiquement.

Du fait de leur pente, ces facettes ne sont jamais utilisées pour l'agriculture. Elles servent tout au plus de chemin de parcours pour les ovins. Le passage répété du bétail en certains lieux à proximité des villages marque d'ailleurs le paysage par des sentiers entrecroisés qui conduisent à la dissection des facettes concernées en mailles hexagonales favorables à la concentration du ruissellement. Hormis ces cas rares, le ruissellement qui prend forme dans ces ensembles est de nature diffuse. Il entraîne du fait des fortes inclinaisons de pente et malgré une couverture végétale dense et pérenne une intense érosion aréolaire qui décape les maigres sols développés sur ces entités.

Le quatrième type défini regroupe 149 facettes topographiques. D'une superficie de 41 ha, ce type couvre environ 18 % de la surface totale du bassin versant. Il couvre l'ensemble des facettes topographiques de collines situées en rive gauche de l'oued Kamech. L'espace représenté affiche une altitude moyenne de 130 mètres pour une pente située aux alentours de 9°. Les collines ainsi rassemblées affichent une nette opposition de versants. Les écoulements qui en résultent, de nature diffuse, s'orientent soit du sud-ouest au nord est, soit du nord-est au sud-ouest. Mais ils sont toujours drainés par des oueds transversaux, relativement simples quant au nombre d'affluents qu'ils collectent, établis entre deux interfluves définis par les lignes de crêtes de chaque colline. L'alternance systématique avec les talus du type 3 (à l'amont comme à l'aval) limite d'ailleurs les apports hydriques exogènes aux systèmes établis si bien que les impluviums existants constituent autant de sous bassin versant élémentaires juxtaposés les uns aux autres selon un axe longitudinal. Cet espace, mis en valeur par l'agriculture céréalière mécanisée, est labouré perpendiculairement à l'axe de la plus grande pente, c'est-à-dire de manière longitudinale. De ce fait, les labours peuvent tout aussi bien être parallèles ou perpendiculaires aux écoulements selon la forme et l'orientation du relief dans lequel ils se trouvent. D'un point de vue érosif, les croupes et les versants des collines semblent subir un important départ de sédiments. Ces derniers sont toutefois rapidement bloqués au niveau des exutoires des sous bassins élémentaires.

Le cinquième type défini par traitement statistique rassemble 185 facettes topographiques d'une superficie moyenne de 0,18 ha. L'ensemble ainsi délimité occupe une superficie totale de 33 ha ce qui correspond à 14 % de la surface du bassin versant. L'altitude moyenne de 118 m figure parmi les plus basses. Couplées à de fortes pentes (10° en moyenne), elles témoignent là encore de l'inversion caractéristique de ce relief. Les facettes du type 5 sont elles aussi frappées par une opposition de versant. Les écoulements se partagent entre deux directions privilégiées selon le versant sur lequel ils prennent forme. Cependant, les collines décrites dans cet ensemble semblent moins bien organisées topographiquement que celles figurant dans le type 4. Les bancs de grès qui les *encadrent* et qui marquent leur terminaison ne définissent en effet pas de limites nettes comme dans le cas précédent. Le fait que l'on se situe sur le revers des couches joue d'ailleurs un rôle important dans cette désorganisation : plus sensibles à l'érosion différentielle, ils subissent une dislocation importante induite par les nombreux oueds transversaux qui les rapprochent progressivement du niveau altitudinal du sillon appalachien. Les lambeaux résistants, restant plus élevés en altitude, jouent alors un rôle structurant en permettant la formation d'une colline aux flancs convexo-concaves assez redressés dont ils assurent la terminaison sous la forme d'un talus hémicyclique. Ces talus ne sont en revanche pas alignés les uns avec les autres. Ils contribuent de ce fait à donner cet aspect anarchique au paysage. Le réseau hydrographique, bien plus dense que pour le versant gauche, ajoute à cette impression. En outre, les collines les plus en aval, établies dans la partie sud-ouest de l'ensemble, subissent une importante érosion hydrique qui conduit à la formation

de badlands (type 6) sur leur flanc exposé au sud-ouest. Ces espaces, contrairement au reste de l'ensemble ne sont d'ailleurs jamais cultivés.

Le sixième type est le plus restreint spatialement. Il n'occupe que 1 % de la surface totale du bassin versant et ne rassemble que quelques facettes particulières. Son importance dans le cheminement de l'eau est toutefois à signaler car les facettes inscrites dans cet ensemble correspondent soit aux têtes de ravins établis en aval du type 2, soit à des ravinements établis sur le flanc de certaines collines du type 5. Leur rôle dans l'agencement du paysage est remarquable puisque ces têtes de ravin sont toujours le point de départ des oueds transversaux qui dissèquent l'ensemble pour former les collines irrégulières signalées précédemment. Ces lieux de concentration des flux hydriques apparaissent alignés le long d'un axe longitudinal qui correspond à un affleurement de grès marquant spatialement la fin du type 2 et le début du type 5.

IV.3.3 - Le bassin versant d'El Hnach.

Le dernier bassin versant traité est aussi le plus problématique, à la fois en termes de données disponibles et de complexité topographique. Le bassin versant d'El Hnach présente en effet une multitude de formes souvent désorganisées si bien qu'il est difficile de faire ressortir une structure d'ensemble comme ce fut le cas pour les deux autres bassins versants.

Etabli au sein d'un relief anticlinal évidé en combe par l'érosion différentielle, de nombreux blocs s'individualisent donnant à chaque fois une forme particulière au paysage entraînant une relative incohérence d'ensemble. Le substrat géologique varie ainsi de manière sensible sur quelques centaines de mètres seulement, ses changements induisant des modifications significatives au niveau des formes du relief et du milieu naturel. En outre, la forte érosion des marnes et les croûtes calcaires fossilisées établies en son centre ajoutent autant de difficultés à la lecture de ce paysage.

IV.3.3.1 - Les critères de sélection des types de facettes.

La complexité du relief d'El Hnach ainsi que les problèmes liés aux données disponibles entraînent des complications pour l'établissement des scénarios utiles à la mise en œuvre de la typologie. En effet, l'absence des valeurs d'altitude moyenne limite les traitements numériques, notamment en ce qui concerne l'ACP, et réduisent d'autant les interprétations qu'ils permettent de réaliser. De ce fait, l'analyse des résultats de l'ACP n'est pas réalisée pour El Hnach. Toutefois, les scénarios de classification s'appuient sur les coordonnées des individus projetées sur les deux seuls axes factoriels établis. De ce point de vue, seule l'étude des profils topographiques est envisageable pour définir les critères de sélection de la typologie.

Le premier profil topographique tente de faire ressortir les ensembles présents depuis l'amont du bassin versant (figure 4.2.4 ; point A) jusqu'à un *aval relatif* (point B). Il couvre six grandes unités topographiques qui renvoient à trois types de milieux bien particuliers. Aussi, le plus en amont possible, un talus relativement abrupt développé sur le front d'un affleurement gréseux surmonte un versant de pente moyenne établi sur un banc de marnes relativement conséquent. Ce versant se répartit en outre de part et d'autre du lit mineur de l'oued principal (oued El Hnach) peu encaissé à cet endroit ce qui entraîne nécessairement une opposition en termes d'écoulements de surface, les pentes se faisant face.

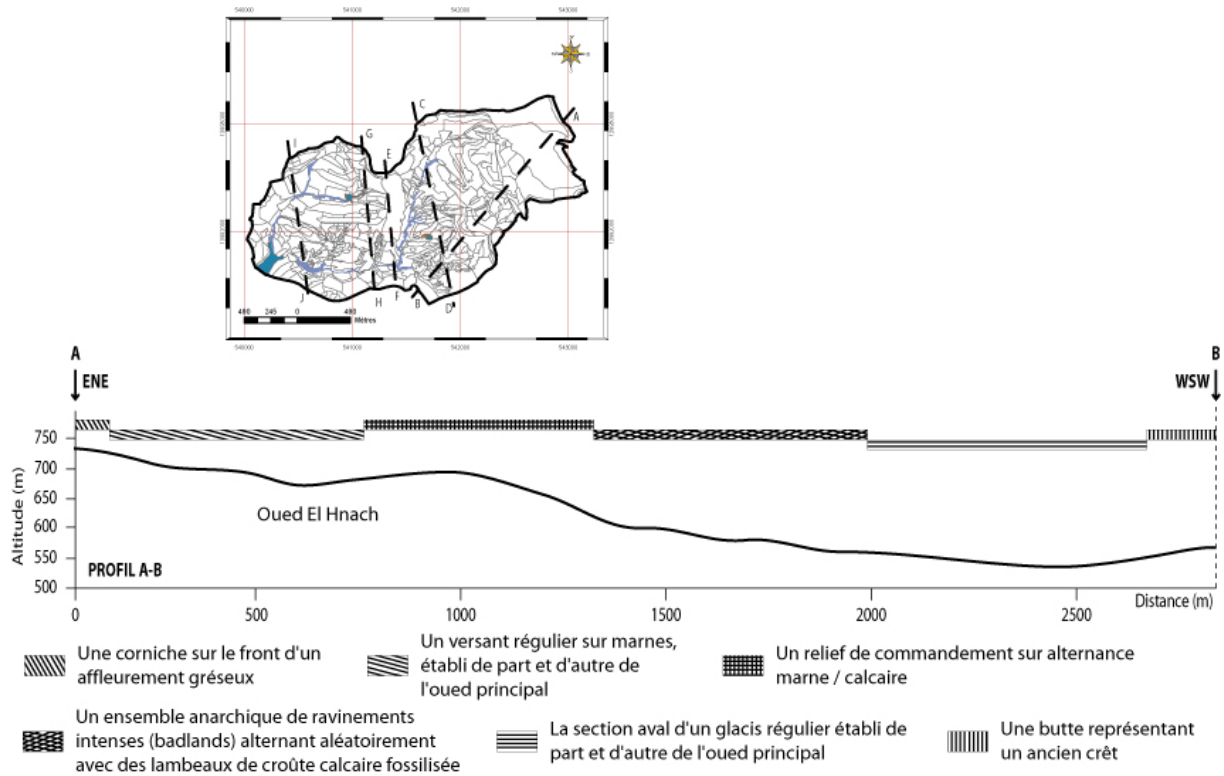


Figure 4.24 : Agencement topographique du bassin versant d'El Hnach suivant un axe est nord-est / ouest sud-ouest.

Dans la continuité de ce *premier paysage*, apparaît un relief de commandement caractérisé par une alternance rapide de marnes et de calcaires. Le faible pendage des couches conduit à la mise en place d'une surface structurale sur le revers, correspondant au versant exposé au nord, de ces dernières. Malgré la faiblesse des pentes, les sols qui se développent sur cet ensemble sont maigres et les rares espèces végétales capables de le coloniser prennent leurs racines dans les affleurements de marnes. Le versant exposé au sud, établi cette fois sur le front des couches, affiche des pentes nettement plus marquées. L'alternance rapide roches dures sur roches tendres façonnent le relief en formant une sorte de *grand escalier*. En aval de ce relief de commandement, dès lors que les marnes deviennent largement dominantes, un ensemble confus où se mêlent badlands et lambeaux de glaciais fossilisés par des croûtes calcaires fait son apparition. Il est intéressant d'expliquer les raisons de cet ensemble. A l'origine, il devait exister à cet endroit un ensemble continu formé par un vaste glaciais légèrement incliné et affichant des sols profonds, établi sur les roches marneuses. Notons d'ailleurs que les parties latérales - essentiellement au sud - de cet ensemble correspondent encore aujourd'hui à un glaciais similaire au glaciais originel. Sur celui-ci des sols profonds sont observables ainsi que les processus qui devraient conduire progressivement - du moins si les conditions climatiques le permettent - à la mise en place d'une croûte calcaire solide et continue. Les mécanismes de concentration des calcaires à l'œuvre à l'époque (quaternaire) ont peu à peu consolidé cet ensemble par la formation d'une croûte calcaire épaisse, résistante et continue. Le climat actuel, n'étant pas favorable au maintien d'une tel structure, conduit peu à peu à son démantèlement. Celui-ci doit d'ailleurs être assez rapide à partir du moment où la croûte calcaire protégeant l'ensemble se disloque de manière significative. L'action de l'eau dans la dissolution de la croûte calcaire est vraisemblablement à l'origine des formes actuelles. Il est en effet fortement probable que l'eau ait commencé par disséquer le glaciais suivant les axes de concentration du ruissellement. Une fois la croûte superficielle dégagée dans ces axes, l'encaissement du ruissellement concentré dans les marnes sous-jacentes accélère le processus

de démembrement du glaciaire. La ravine ainsi formée s'élargit de plus en plus et remonte vers l'amont du glaciaire isolant progressivement des lambeaux de glaciaire et laissant à la place un ravinement intense apparenté à un badlands. A l'heure actuelle, les restes des glaciaires fossilisés n'existent qu'à l'état de fragments disparates, parfois détachés du relief de commandement, comme autant de témoins de son ancienne extension. L'analyse fine de ces glaciaires fossilisés est réalisée dans les chapitres suivants.

Dans le prolongement de ce *second paysage* apparaît une troisième entité remarquable. En *discordance* géologique avec le centre du bassin versant, cette butte développée sur une alternance grès/marnes correspond à un ancien crêt limitant la combe dans sa partie méridionale. La structure lithologique rappelle d'ailleurs celle du talus à l'amont du bassin versant même si des mouvements tectoniques ont provoqué des modifications significatives en terme de pendage. Cette butte apparaît comme un accident organisationnel et forme à elle seule un *troisième paysage*. Ses flancs escarpés, de forme convexes sont soumis à de nombreux mouvements de masse comme en témoignent les cicatrices d'arrachement hérités ou les formes solifluées de versant qu'elle affiche. Là encore, le détail de cet ensemble sera donné ultérieurement.

L'axe présenté couvre une grande partie des formes rencontrées à El Hnach. Toutefois l'analyse d'autres profils est indispensable pour l'appréhender dans son ensemble et en déduire les critères de sélection utiles à la typologie des facettes topographiques sur ce bassin versant. Les réseaux de failles, malheureusement mal représentés sur les cartes géologiques au 200000^{ème}, contribuent en effet à développer des formes similaires à celles présentées précédemment mais opposées en terme d'orientation.

Le profil C-D (figure 4.25) montre ainsi une coupe transversale de l'ensemble décrit précédemment. De ce point de vue, il ne correspond pas à une succession amont / aval dans le sens de l'écoulement de l'eau, mais plutôt à une juxtaposition latérale de facettes topographiques, présentée dans le but d'aider le lecteur à mieux comprendre ce paysage. Sur cette dernière il est possible d'entrevoir, en premier lieu, un relief de commandement qui correspond, en fait, au prolongement du relief détaillé plus haut. Cet ensemble, de même nature que celui du profil A-B (figure 4.24), est séparé de ce dernier par le lit mineur de l'oued El Hnach. Sans cette coupure, il s'inscrirait dans sa continuité. Toutefois, le fait que l'oued entaille l'ensemble perpendiculairement aux formations géologiques entraîne des caractéristiques particulières au niveau des écoulements : ceux-ci ne se font pas comme le voudrait la logique, c'est-à-dire dans le sens de la plus grande pente (et par conséquent orientés du nord au sud) mais suivant le pendage des couches. De ce fait, l'eau s'écoule vers l'est, en surface des affleurements calcaires. La suite du profil reprend les ensembles détaillés précédemment, là encore perpendiculairement à la *plus grande pente*. Il s'agit donc d'une succession de marnes très fortement ravinées et de restes de glaciaires fossilisés par des croûtes calcaires. La largeur de l'ensemble montre l'importance de ce type de structure dans le paysage. En outre, ce profil s'achève par un glaciaire plus récent, partiellement encroûté, qui ressemble très probablement à ce qu'étaient à l'origine les vestiges de l'ensemble précédent.

Avec E-F (figure 4.25), nous revenons dans le contexte plus classique d'un profil établi dans le sens de la pente. Il montre là encore une succession de type relief de commandement / glaciaire. Si le relief de commandement ne présente pas de spécificités particulières, le glaciaire qu'il surmonte est le plus important de tout le bassin versant. Celui-ci fait pratiquement 1 kilomètre de long pour environ 150 mètres de large. L'ensemble ainsi formé couvre toute la largeur du bassin versant suivant l'axe nord / sud. Ses pentes rectilignes ont tendance à s'infléchir vers l'aval. Bien qu'encore actif de nos jours, ce glaciaire commence à présenter des formes de *dislocation* : sa dernière section est séparée des éléments de relief latéraux par des

ravines profondément encaissées dans les marnes sous-jacentes. Enfin, la dernière portion de cette coupe topographique couvre la colline correspondant à l'ancien crêt détaillé dans l'analyse du premier profil.

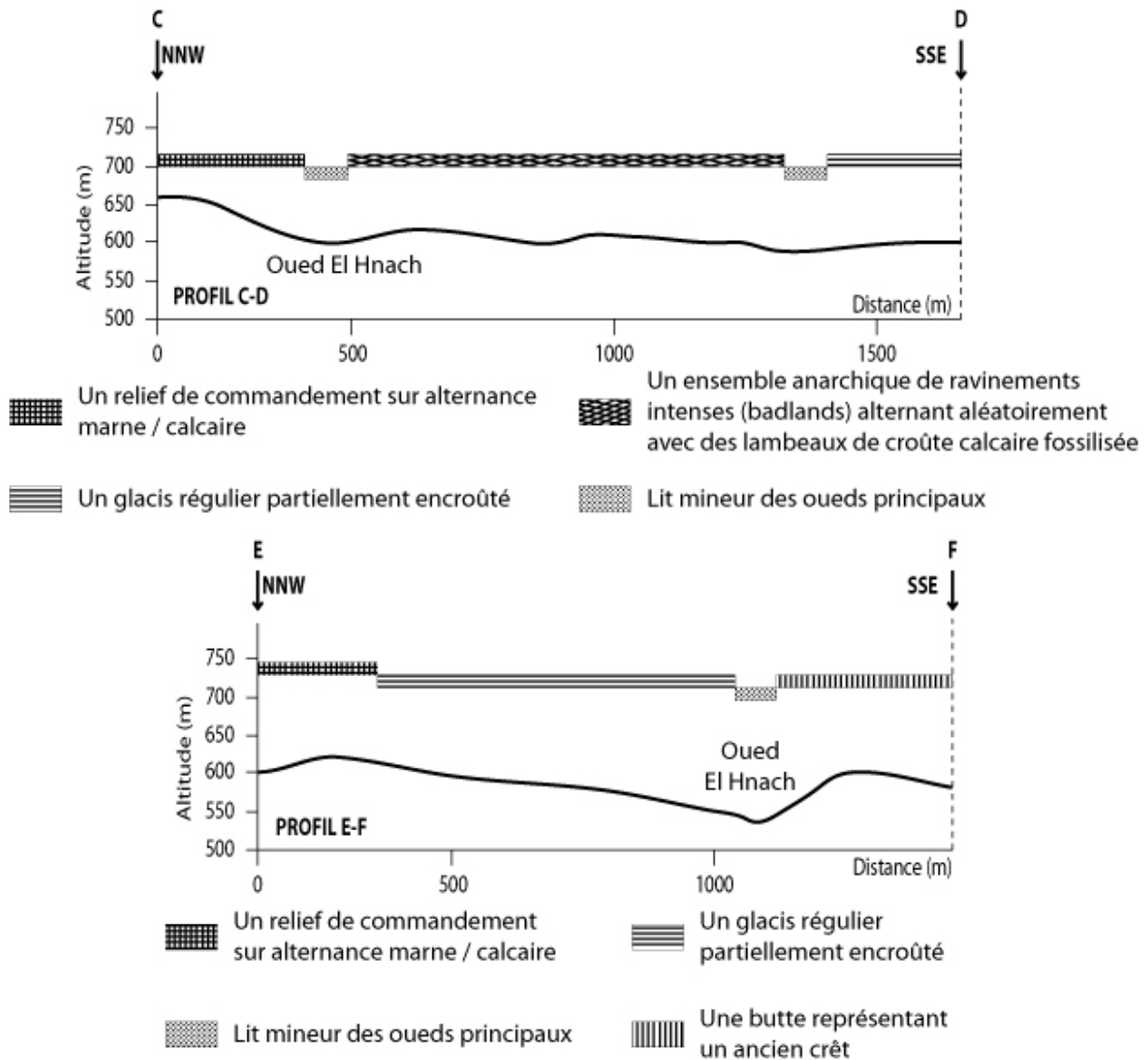


Figure 4.25 : Agencement topographique du bassin versant d'El Hnach suivant un axe nord nord-ouest / sud sud-est (I).

Le profil G-H, présenté en figure 4.26, montre un emboîtement de deux reliefs de commandement affichant une alternance marne / calcaire. Ils sont séparés l'un de l'autre par un oued relativement important qui draine toute la partie nord-ouest et ouest du bassin versant jusqu'à son exutoire, la retenue collinaire. De même nature que ceux présentés précédemment ils ne seront pas plus détaillés ici. En revanche, au-delà du second relief de commandement, s'étend un secteur où il est possible à nouveau d'observer des glacis fossilisés par des croûtes calcaires alternant avec des marnes très érodées. Si les caractéristiques sont similaires à celles présentées précédemment, il faut signaler qu'un de ces glacis est encore intact de nos jours. Celui-ci, formé de croûtes anciennes et résistantes dans sa section amont, se prolonge par des formations récentes toujours actives. A ce titre, il permet d'appréhender toute la succession évolutive de ce type d'ensemble. Il fait d'ailleurs l'objet d'une toposéquence analysée très

finement dans la suite de la thèse. Enfin, ce profil s'achève là encore sur l'ancien crêt qui assure la limite sud du bassin versant.

Le dernier profil (I-J) présenté (figure 4.26) montre là encore une alternance relief de commandement / glacis actif sur marnes. Même s'ils n'affichent pas les mêmes dimensions, les unités qui y prennent place se rapprochent de celles du profil E-F. Les reliefs de commandement inscrits sur ce profil sont les mêmes que ceux du profil G-H, assurant une relative continuité spatiale dans cette partie du bassin versant.

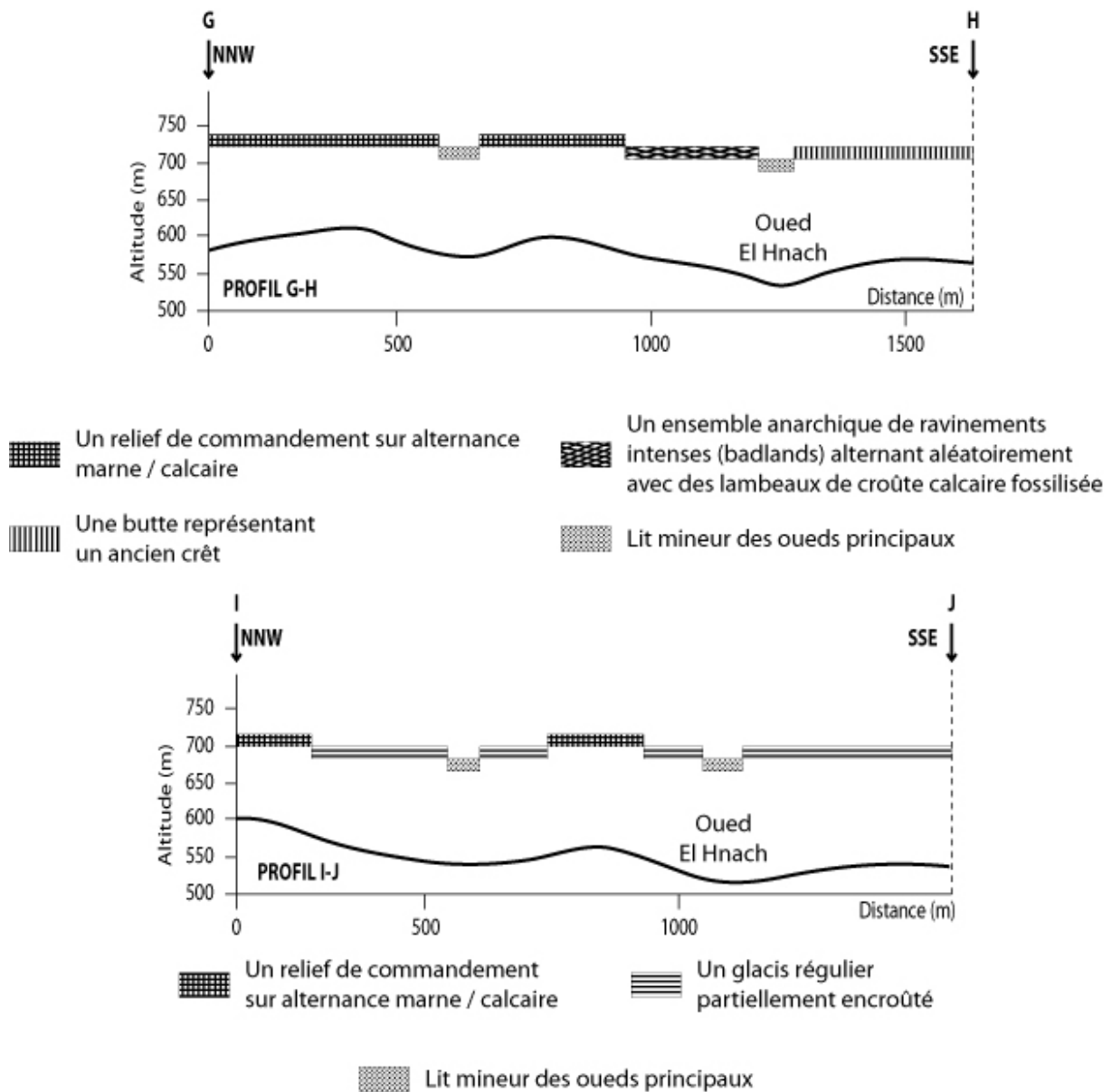


Figure 4.26 : Agencement topographique du bassin versant d'El Hnach suivant un axe nord nord-ouest / sud sud-est (II).

Au final, le bassin versant d'El Hnach ne présente pas de formes particulièrement complexes et les successions spatiales, lorsqu'elles sont réalisées dans le sens des écoulements de l'eau, affichent une certaine régularité. La difficulté qui apparaît est que ces successions ne semblent pas suivre de règles générales d'organisation *tout est un peu dans tous les sens* et se dispose au bon vouloir des différentes lignes de failles, favorisant de multiples changements dans l'agencement des formes du relief... aucun arrangement régulier et répétitif, comme c'est le

cas de Kamech et d'Abdeladim, ne transparaît dans les ensembles décrits. Ajoutons à cela les problèmes de compatibilité des données (décrits dans les paragraphes VI.1.4) et il est aisé de comprendre la difficulté d'appliquer des traitements numériques en vue d'obtenir une typologie cohérente. En effet, pour qu'une classification puisse fonctionner et fournir au final des groupements de facettes topographiques du même type, il semble impératif que les structures spatiales présentent des organisations claires même si elles sont très complexes. Or ce n'est pas le cas ici. Toutefois, l'analyse réalisée dans ce paragraphe permet d'énoncer les règles de sélection des types de facettes topographiques :

- Deux classes représentatives des reliefs de commandement calcaires, la distinction résidant dans le front et le revers des reliefs, caractérisées par des pentes fortes mais sans reliefs au niveau de l'orientation.
- Une classe pour faire ressortir les reliefs de buttes qui marquent la limite sud du bassin versant. Si les pentes affichées pour cette classe sont similaires à celles des reliefs de commandement, il est impératif de les distinguer clairement dans la typologie car ils caractérisent deux paysages fondamentalement différents.
- Deux classes pour l'ensemble badlands et glacis fossilisés. Il est éventuellement possible de réunir ces deux ensembles dans la même classe, mais leur nature et les dynamiques hydriques et érosives auxquelles ils renvoient sont différentes. Ces deux ensembles marquent des segments de paysage bien distincts et doivent de ce fait être séparés dans la typologie des facettes topographiques.
- Une classe pour représenter les glacis plus récents et encore actifs de nos jours.
- Et enfin, deux classes pour caractériser les versants réguliers de l'amont du bassin-versant et les talus qui les surmontent.

Procédant suivant ces critères, il est possible de faire ressortir les trois *paysages différents* qui se juxtaposent sur El Hnach. Là encore, c'est à partir de ces critères que sont comparés les différents scénarios établis dans le but de trouver la meilleure classification pour la mise en œuvre de la typologie des facettes topographiques dans cet espace (figure 4.27).

Les diverses classifications réalisées, du fait du manque de paramètres et de la complexité organisationnelle de l'espace sur lequel elles sont appliquées ne semblent pas fournir de résultats satisfaisants vis-à-vis des critères de sélection énoncés précédemment. En effet, si l'on considère les scénarios avec un petit nombre de classes (CAH 4 et 5 ; K-means 4 et 5 ; Mixte 4 et 5) les grands ensembles apparaissent assez distinctement. Toutefois, de nombreux amalgames sont à signaler comme par exemple le rapprochement abusif entre facettes de glacis et de relief de commandement (mixte 4 et 5 ; K-means 4) ou encore les facettes badlands / crêts / relief de commandement (CAH 4 et 5 ; Mixte 5). En outre, ces classifications ne font pas vraiment ressortir dans des groupes différents les subtilités imposées par le relief de ce bassin versant. En ce qui concerne les classifications établies sur un nombre plus important de classes, les résultats ne sont pas beaucoup plus satisfaisants. Si les amalgames sont moins flagrants, ils restent toujours présents, de plus, des distinctions qui n'ont pas lieu d'être font aussi leur apparition. Les reliefs de commandement calcaires sont ainsi souvent disséqués en plusieurs classes, chacun de leurs ensembles définis étant rapprochés des formes du relief qui leur sont fondamentalement différentes... Enfin des différenciations trop importantes apparaissent aussi dans les espaces occupés par des badlands

si bien que les ensembles individualisés ne sont pas représentatifs de ce qui existe réellement sur le terrain.

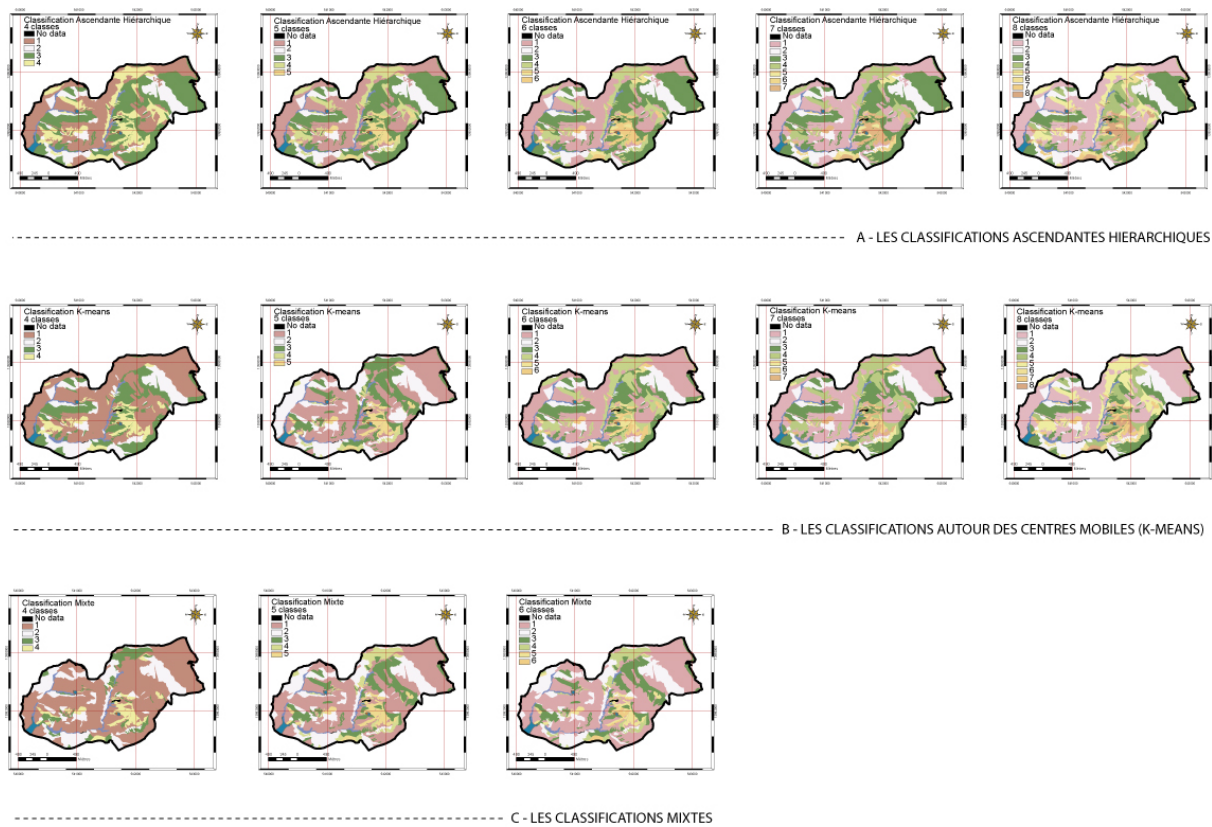


Figure 4.27 : les différentes classifications testées pour le bassin versant d'El Hnach.

Les problèmes qui surviennent dans la classification automatique sont liés au fait que l'espace ne s'organise pas de manière logique. En effet, de nombreuses facettes qu'il est possible de rapprocher d'un point de vue qualitatif s'opposent sur le plan quantitatif : oppositions dans les orientations, divergences concernant les pentes moyennes... Il est d'ailleurs utile de signaler que dans ce cas l'altitude moyenne, même si elle pouvait améliorer les partitions, n'aurait certainement pas suffi à elle seule, à faire ressortir toutes les subtilités spatiales imposées par le relief. Le manque qu'elle impose par son absence n'est finalement pas réellement préjudiciable. Toutefois, si les méthodes automatiques ne proposent pas de résultats corrects ou adaptables, la mise en place de la typologie est nécessaire à la suite des traitements et est indispensable à l'établissement de la carte des segments de paysage dans cet espace. Il s'avère donc nécessaire pour El Hnach de procéder manuellement pour faire ressortir les différents critères énoncés plus hauts. De ce fait, le travail de reformulation manuel des classes utiles à la typologie des facettes topographiques vise à faire ressortir sept ensembles cohérents, regroupant des facettes similaires du point de vue de l'analyse effectuée sur les profils topographiques. Les sept classes établies sont exactement celles qui prennent part dans les critères formulés plus haut. Elles naissent de la confrontation des données qualitatives (annexe 3) disponibles (notamment la carte géologique, la carte des sols, et la carte de l'occupation des sols), de la comparaison avec la photographie aérienne et bien entendu de la connaissance empirique obtenue par les longues journées passées à sillonner cet espace...

IV.3.3.2 - Classification retenue et typologie des facettes topographiques.

La typologie des facettes topographique repose donc, pour le bassin versant d'El Hnach, sur un tri des facettes topographiques réalisé manuellement. Le résultat proposé (figure 4.28), de nature plus subjective, met tout de même en avant les éléments clés pour la future spatialisation des segments de paysage.

Le premier type proposé regroupe 19 facettes topographiques. Il couvre une superficie de 12 ha ce qui ne représente que 3 % de la surface totale du bassin versant. Ce premier ensemble correspond aux deux buttes arrondies qui assurent la limite sud du bassin versant. Ces collines sont constituées d'une alternance assez lâche de bancs gréseux relativement épais (pouvant atteindre une dizaine de mètres d'épaisseur) et de bancs de marnes d'une épaisseur maximale d'environ 15 mètres. Le tout est affublé d'un très faible pendage orienté vers le sud. Les pentes très fortes de cet ensemble affichent une inclinaison moyenne de 14°. Celles-ci, couplées à des formes de versants convexes donnent à ces ensembles un aspect massif. Ces espaces sont essentiellement utilisés comme chemin de parcours pour les troupeaux d'ovins et présentent quelques parcelles agricoles dans leurs parties basales. D'un point de vue dynamique, ces buttes arrondies subissent d'importants mouvements de masse. Des pans entiers de collines se détachent ainsi de l'ensemble (les volumes érodés se chiffrent très certainement en centaines de milliers de mètres cubes), laissant à la place un cratère béant au fond duquel le substrat marneux affleure en surface conduisant parfois à la formation de badlands. Ces collines représentent d'ailleurs un lieu privilégié pour l'observation de ces phénomènes car elles affichent les différents stades qui les caractérisent : du versant intact à la vaste cicatrice d'arrachement en passant par plusieurs étapes de l'arrachement (début du décollement, versant soliflué actif marqué par des blocs de grande taille subissant un glissement, versant soliflué stabilisé).

Le deuxième et le troisième type, même s'ils sont séparés en deux entités distinctes dans la typologie, correspondent aux mêmes formations : il s'agit des reliefs de commandement. Les facettes du type 2 représentent des fronts de couches géologiques tandis que le type 3 s'applique pour caractériser leurs revers. Trois ensembles séparés structurent ainsi le bassin versant d'El Hnach. Celui le plus au nord assure d'ailleurs une de ses limites. Occupés respectivement par 68 et 18 facettes topographiques, ces reliefs s'étendent sur une superficie totale de 78 ha (55 ha pour les facettes du deuxième type et 22 ha pour les facettes du troisième type), soit environ 21 % de sa surface. Bâties sur des alternances marnes / calcaires dont le pendage s'oriente de manière différente d'un ensemble à l'autre, ces reliefs sont des éléments essentiels dans la structure de ce bassin versant. Ils conditionnent en effet l'arrangement des principaux cours d'eau et entraînent la formation de deux sous bassins versants parfaitement distincts. Le paysage d'El Hnach est ainsi divisé en deux grands ensembles qui n'interfèrent pas en ce qui concerne les flux hydriques. La retenue collinaire, située à l'endroit où devrait se faire naturellement leur confluence draine de ce fait indépendamment les flux en provenance de l'une ou de l'autre partie du bassin versant. De plus ces reliefs, par leur position dominante dans le milieu, jouent très probablement un rôle sur les circulations atmosphériques locales. Il est en effet envisageable de penser que leur développement contribue au blocage des flux et provoque des forçages orographiques qui peuvent entraîner des différences spatiales marquées au niveau des précipitations. Ceci implique des conséquences remarquables en terme de contribution aux flux hydriques : outre les paramètres classiques qui conditionnent le ruissellement (capacité d'infiltration...), il est aussi important dans ce cas de s'interroger sur la répartition spatiale des précipitations pour expliquer les flux hydriques aux limites du bassin versant. Malheureusement, il est assez

difficile de vérifier ces suppositions du fait de l'absence de données. Un seul pluviomètre, situé sur la digue de la retenue principale, mesure les précipitations. C'est évidemment trop peu pour caractériser leur répartition spatiale.

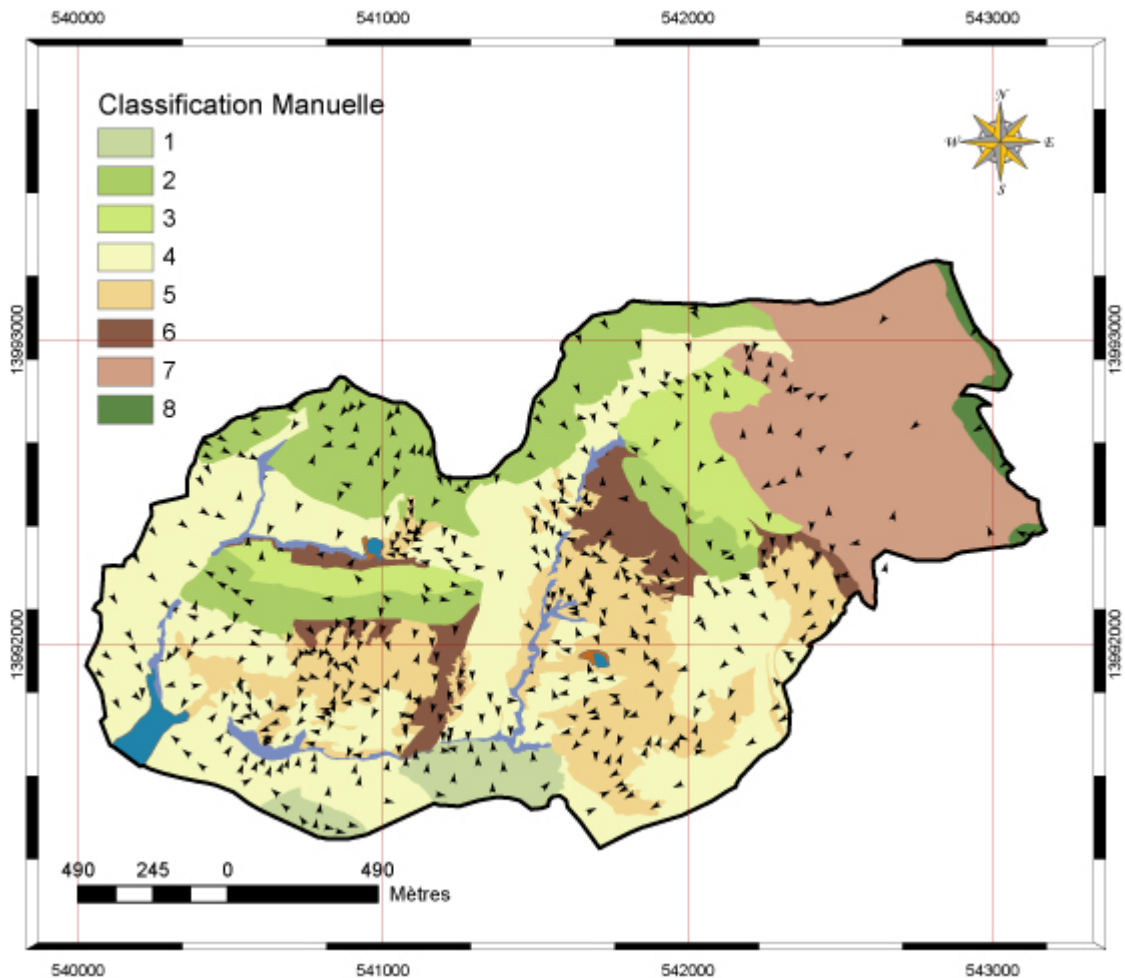


Figure 4.28 : Classification établie manuellement en vue de réaliser la typologie des facettes topographiques sur le bassin versant d'El Hnach.

Un autre point est à signaler en ce qui concerne les flux d'eau dans ces ensembles. Leur surface irrégulière en *marches d'escalier* implique des écoulements à la fois dans le sens du pendage des couches et dans celui de la plus grande pente. Une partie du ruissellement se concentre le long d'axes entaillant légèrement les affleurements et contribue donc au ruissellement *normal*. En revanche, une partie de l'eau captée entre les affleurements de calcaires et de marnes, circule de manière souterraine dans le sens du pendage et ressort au niveau des revers, contribuant ainsi à alimenter en eau une autre partie du bassin versant que celle où elle aurait dû s'écouler normalement. Cela ne pose pas de réel problème pour les deux reliefs centraux, puisque l'eau précipitée sur le bassin versant reste tout de même sur celui-ci. En revanche, une partie de la pluie qui tombe sur le relief marquant la limite nord du bassin versant risque de sortir de celui-ci par ce biais et ne participera donc pas à son flux global. Le problème étant de pouvoir quantifier ce phénomène pour estimer dans quelle mesure les flux quittent l'espace sur lequel ils auraient normalement dû se produire. Laborde (2000) précise d'ailleurs à ce sujet que les petits bassins versants sont très sensibles à ce genre de phénomènes car les apports et les pertes induites par les écoulements souterrains se compensent rarement.

Le quatrième type défini, correspond aux glacis actuels, c'est-à-dire ceux qui ne sont que partiellement encroûtés et sur lesquels se développent des sols profonds. C'est le type le plus présent sur le bassin versant d'El Hnach. Les 158 facettes qui le caractérisent, occupent une superficie de 121 ha, soit environ un tiers de sa surface. Répartis sur l'ensemble de l'espace, hormis dans la partie la plus en amont, ces glacis se présentent sous la forme de versants pouvant être relativement longs, de formes généralement convexes. Ils se développent sur un substrat marneux qui est à la fois la cause de leur mise en place et celle de leur destruction lorsque le ruissellement les entaille suffisamment. La qualité et la profondeur des sols conduit à une importante mise en valeur agricole de ces entités. De ce fait, ils sont rendus sensibles à l'érosion hydrique à la fois à cause des labours réalisés dans le sens de la pente et de l'absence d'une végétation pérenne protectrice.

Le cinquième type correspond aux glacis anciens, complètement encroûtés et dont il ne subsiste plus que des lambeaux disparates. Leur superficie est très modeste : 18 hectares environ (soit 5 % de la surface totale du bassin versant), répartis en une vingtaine de facettes bien distinctes et qui correspondent à autant de débris de glacis séparés spatialement. Ces espaces (à une exception près) ne sont pas utilisés par l'homme, même en tant que chemin de parcours pour les ovins. Leurs dimensions restreintes, leurs sols maigres et leurs rebords abrupts interdisent en effet tout usage. Les explications relatives à leur organisation verticale et les comportements hydriques qui les caractérisent ne sont pas abordés dans ce chapitre, mais seront analysés en grand détail dans la suite de la thèse. En effet, même s'ils sont très limités spatialement dans ce bassin versant, ils représentent des formes du relief tout à fait typiques du monde méditerranéen aride et méritent par là même d'être étudiés en profondeur.

Le sixième type rassemble 175 facettes topographiques pour une superficie totale de 58 ha, soit 16 % de la surface totale du bassin versant. Il correspond aux ravinements denses qui s'inscrivent dans le substrat marneux. Le relief complexe formé d'étroits ravins et de collines de faibles développements aux pentes raides et aux crêtes étroites est lié à une intense activité érosive qui incise profondément le substrat marneux. Chaque entaille correspondant à un ravin particulier n'est cependant pas détaillée en tant que facette topographique. Leur relevé individuel aurait été bien trop long. Seules les principales (les plus profondes ou les plus caractéristiques) sont donc levées isolément, celles de rang inférieur étant groupées dans des ensembles définis en fonction de leur *confluence commune*. Les processus érosifs, encore très actifs de nos jours, favorisent leur élargissement dès lors qu'un épisode pluvieux délivre suffisamment d'eau pour accentuer leur creusement. En outre, ils limitent la formation de sols (et par là même le développement de la végétation). Ces derniers sont en effet limités à une mince pellicule d'altération de couleur jaunâtre, épaisse de quelques centimètres seulement et qui traduit d'un début de processus de pédoplasation. Très spectaculaires et particulièrement inhospitalières, les facettes topographiques qui s'inscrivent dans cet ensemble sont délaissées par l'homme. Seuls quelques rares chemins de parcours sont à signaler. Ces facettes offrent de ce fait un refuge intéressant où il est possible d'observer de nombreux animaux sauvages, parfois de *grande taille* tels que des sangliers ou des loups.

Les deux derniers types correspondent à la partie la plus en amont du bassin versant. Deux ensembles de facettes se succèdent dans cet espace : des facettes correspondant à un talus court et abrupt, aux versants rectilignes, établi sur une alternance lâche de grès et de marnes (à peu près de même nature que les buttes du type 1) occupe un espace très restreint : moins de 1 % de la superficie totale du bassin versant. Ses fortes pentes le rendent impropre à l'implantation humaine. Toujours végétalisé, il ne semble pas subir outre mesure les

agressions de l'eau et de ce fait ne présente pas de formes d'érosion hydrique à sa surface. En revanche, l'action gravitaire entraîne le détachement de quelques blocs gréseux qui roulent sur ses flancs et se stabilisent à sa base. Succédant à ce talus, un large versant prend place. Les 27 facettes topographiques qui le composent occupent une superficie de 66 ha, soit près de 20 % de la superficie totale du bassin versant. Les pentes dont l'inclinaison moyenne est de 9° affichent des profils rectilignes. Du fait de la profondeur des sols développés sur marnes, ces versants sont entièrement occupés par l'homme à des fins agricoles. Ils sont à ce titre labourés perpendiculairement à la pente et mis en valeur une année sur deux (en fonction des pluies) pour des productions céréalières. Les années où ils ne sont pas labourés, les parcelles qui occupent ces facettes sont laissées en jachères et louées à des fins de parcours pour le bétail. Les sols paraissent relativement stables, mais du fait de la forte inclinaison des pentes, ils sont soumis à d'importants départs de sédiments sous l'action de l'érosion hydrique diffuse et linéaire. De ce fait, une grande partie de leur superficie fait l'objet de l'implantation de dispositifs de prévention de type banquettes mécaniques, installées dans le but de les stabiliser et de limiter le départ des sédiments.

CONCLUSION

Avec ce quatrième chapitre, sont abordés les premiers traitements qui conduisent à la mise en place des segments de paysage. Les facettes topographiques c'est-à-dire des portions d'espace topographiquement homogènes, relevées sur chaque bassin versant et décrites par des variables qualitatives et quantitatives font l'objet de traitements numériques réalisés dans le but de mettre en avant leur similarité et par là même de les regrouper en ensembles cohérents. Les traitements statistiques et SIG réalisés dans ce but offrent de bons résultats et les types obtenus font clairement ressortir les agencements spatiaux observables sur le terrain. Toutefois, pour que cela puisse fonctionner correctement il est impératif que le paysage ait une organisation topographique régulière, même si elle est très complexe. Sans cela, la typologie automatique n'est pas envisageable. Les méthodes de classifications employées ne peuvent en effet pas établir de classes lorsque les successions spatiales ne suivent pas une certaine logique. De ce fait, les bassins d'Abdeladim et de Kamech permettent l'obtention rapide de bons résultats suite aux traitements statistiques, les quelques artefacts présents découlant essentiellement de problèmes de résolutions des données. Pour El Hnach en revanche, le fouillis topographique fait qu'aucun traitement automatique n'offre de résultats satisfaisants. Le recours à un traitement manuel pour définir les types de facettes est dans ce cas nécessaire.

Les types de facettes établis permettent une première analyse des processus actifs sans toutefois pouvoir expliquer l'ensemble des phénomènes qui surviennent au sein de chacun d'entre eux. Il s'agit, de ce point de vue, plus d'un premier *élagage* de l'information recueillie que d'une réelle analyse. Les types de facettes ne sont pas non plus des segments de paysages à proprement parler : ces derniers s'inscrivent à un niveau intermédiaire entre la facette isolée et le groupe dans lequel elle prend place. Il est de ce fait très fortement probable qu'un redécoupage des types caractérisés soit effectué ultérieurement.

L'étape qui vient d'être réalisée est indispensable à la mise en œuvre typologique et cartographique des segments de paysages. Elle permet en effet de les inscrire dans des ensembles topographiques similaires ce qui offre un double intérêt. Tout d'abord, cela facilite les interprétations dynamiques des segments définis. La dynamique d'un segment de paysage s'explique tout autant par son contenu que par sa configuration spatiale et sa position dans le milieu naturel. Ainsi, le fait de connaître les caractéristiques des formes du relief et de les regrouper en types distincts fixe déjà les bases analytiques dans lesquelles ces segments, et les dynamiques qui leur sont associées viennent s'inscrire. De plus, la définition de types de

facettes topographiques permet le passage du niveau stationnel au niveau général. En d'autres termes, la typologie réalisée permet l'extrapolation des relevés de milieu (et des types de relevés qu'ils déterminent...), représentant le niveau ponctuel et local, au niveau cartographique global. En effet, dans un souci d'efficacité et de rapidité, seul un *petit nombre* de relevés est défini sur le terrain. Le travail nécessaire à leur identification est en effet trop gourmand en temps pour pouvoir se permettre de multiplier les observations. De plus le risque de collecter des données redondantes est grand : une même organisation topographique étant souvent occupée par une même organisation verticale, il n'est pas nécessaire d'augmenter le nombre des observations servant à les caractériser. Ainsi, un type de facette donné est représenté par un ou quelques relevés de terrain représentatifs de l'ensemble de l'organisation du milieu naturel de l'ensemble ainsi délimité. L'extrapolation peut alors se faire directement. Ce point sera abordé en détail dans la suite du travail dans les chapitres V et VI de la troisième partie de la thèse.

CHAPITRE V

LA TYPOLOGIE DES ENVELOPPES DE LA GEOSPHERE

INTRODUCTION

La seconde phase de l'étude du milieu naturel, réalisée en vue d'établir la carte des segments de paysage, nécessite de s'intéresser aux arrangements des différentes composantes verticales du milieu naturel à leurs extensions latérales. En d'autres termes, cela correspond à définir et à caractériser les enceintes paysagiques de la géosphère (les hoplexols) à déterminer les extensions latérales des unités paysagères élémentaires qu'elles décrivent (les géons) dans les trois bassins versants. Cette étape de l'analyse repose donc sur les principes de l'ATM et son but affiché est de permettre l'établissement, la différenciation et l'explication des organisations de la géosphère dans ces espaces. Le couplage avec les facettes topographiques présentées dans le chapitre précédent, la mise en œuvre de la cartographie des segments de paysages et la caractérisation des comportements hydrodynamiques dans la géosphère ne sont cependant pas abordés ici. Seule la méthode de collecte des données et les traitements qu'elles permettent de réaliser sont détaillés.

Ce cinquième chapitre décrit les étapes nécessaires à cette caractérisation. Dans un premier temps, la méthode d'investigation sur le terrain ainsi que les données recueillies sont présentées. Les traitements réalisés en vue de déterminer les types d'hoplexols et les résultats qu'ils proposent font l'objet du second temps.

V.1 - METHODE D'INVESTIGATION ET DONNEES RECUEILLIES.

V.1.1 - La collecte de données sur le terrain : présentation de la démarche.

Comme cela est signalé dans le chapitre III.2.3, l'analyse du milieu naturel doit être homogène, exhaustive et rapide. Il s'agit donc de procéder avec méthode lors de la collecte des données sur le terrain, et faire en sorte de ne rien oublier, sans toutefois tomber dans le recueil d'informations redondantes et inutiles. Les paragraphes qui suivent montrent comment cette approche doit se faire. La démarche est présentée de manière à être la plus pédagogique possible, dans une sorte de *mode d'emploi*, afin qu'elle puisse être reproduite aisément hors du cadre de cette thèse.

V.1.1.1 - Le choix des axes d'échantillonnage.

La définition des segments de paysage dans un milieu donné passe en tout premier lieu par une collecte d'informations sur le terrain. Leur caractérisation requiert une définition précise des formes du relief dans lesquels ils se placent, des organisations latérales et verticales présentes ainsi que des dynamiques que l'on peut en déduire. Le premier aspect, très systématique, est relativement simple à mettre en œuvre : il s'agit des facettes topographiques présentées dans le chapitre précédent. En revanche, l'étude du second point nécessite une

grande rigueur lors de la collecte de l'information. Le recueil des données sur les composantes verticales de la géosphère occupe en effet un temps considérable dans l'étude. Cet aspect à d'ailleurs déjà été ébauché dans le chapitre précédent : il est inutile de vouloir tout caractériser du simple fait de la présence d'organisations récurrentes dans le milieu naturel. L'identification d'une seule succession suffit à caractériser l'ensemble des successions qui lui sont similaires : les talus de Kamech, les croûtes fossilisées d'El Hnach ou encore les jebels boisés d'Abdeladim affichent toujours des formes élémentaires qui se répètent à l'identique. Seuls quelques points de mesure suffisent d'ailleurs à les caractériser. Il s'agit donc, dans un premier temps de repérer correctement les points les plus représentatifs possible de l'organisation verticale et latérale du milieu puis de l'analyser en détail. De ce point de vue, le plus simple et le plus efficace pour analyser un paysage est de l'aborder de l'amont vers l'aval, suivant l'axe de la toposéquence (exemple en figure 5.1). C'est en effet le long de cet axe que les principales organisations prennent place, traduisant des mouvements de matière le long des versants qui s'établissent suivant les cheminements de l'eau dans le milieu. Chaque changement de succession implique la nécessité de définir une nouvelle toposéquence, et ainsi de suite jusqu'à ce que toutes les successions directement perceptibles soient couvertes.

Il est communément admis que le choix des axes d'échantillonnage se fasse après une première visite de reconnaissance sur le terrain ainsi qu'une étude des documents cartographiques de base, tels que les cartes topographiques, pédologiques et géologiques, les images satellitales ou encore les photographies aériennes disponibles pour le paysage étudié. Sont ainsi définis un nombre limité de toposéquences pour chaque bassin versant. Le choix de leur emplacement résulte d'un triple questionnement : L'espace choisi est-il représentatif du paysage ? L'espace choisi est-il accessible ? L'espace choisi est-il *exploitable* ?

La question de l'*accessibilité* implique que les toposéquences retenues puissent être atteintes facilement. Il n'est en effet pas envisageable de déterminer un secteur d'étude trop loin, trop difficile à atteindre ou encore trop escarpé et dangereux à escalader. Et cela pour des raisons évidentes de transport de matériel de mesure (bien que celui-ci se limite généralement à une pelle, une pioche, une tarière et quelques petits appareils de type boussole ou clinomètre), de sécurité et de temps.

La question de l'*exploitabilité* impose de choisir des toposéquences qui ne viendront pas perturber la mise en valeur agricole lors de l'ouverture des fosses pédologiques et imposer le piétinement des récoltes par passages successifs entre les différentes fosses, à moins d'en avoir l'autorisation. C'est en partie pour cette raison que l'idéal est de choisir des toposéquences en milieu *non-anthropisé* ou situées en marge de celui-ci. Les observations de la géosphère doivent en conséquence se faire en des lieux *les plus spontanés possibles*. Etant donné qu'il est important, pour caractériser un espace, de tenir compte de l'ensemble de l'état de ses géons, un relevé partiel, c'est-à-dire de ce qui est directement visible au-dessus de la surface du sol, peut-être effectué dans les parcelles agricoles. Ce relevé partiel est d'ailleurs rattaché au relevé du milieu *naturel* qui lui est le plus proche spatialement (et d'un point de vue organisationnel). Ce type de rapprochement est rendu possible par la grande proximité (généralement moins d'une dizaine de mètres) entre l'observation complète et l'observation partielle du milieu. Elle est d'ailleurs toujours renforcée par un forage à la tarière qui vient préciser les similarités entre les deux compositions.

Enfin, la question de la *représentativité* de la toposéquence renvoie à l'obligation de choisir, malgré les deux règles précédentes, des toposéquences qui caractérisent au mieux l'organisation latérale et verticale à laquelle elle renvoie.

Les toposéquences ainsi définies sont à la base de l'analyse verticale du milieu naturel. C'est le long de celles-ci que se définissent les enceintes verticales de la géosphère (les hoplexols...) et sont relevées les différentes composantes qui s'y inscrivent. Par conséquent, leur

positionnement est une étape importante de l'analyse puisque c'est à partir de ces dernières que son organisation peut-être appréhendée. Toujours dans la même logique, et pour conserver le souci d'exhaustivité et de rapidité d'analyse, les différents hoplexols sont étudiés au travers de profils verticaux, en nombre limité mais toujours les plus représentatifs du milieu dans lequel ils s'inscrivent.

V.1.1.2 - L'emplacement des points de mesure de la géosphère.

Une fois les lignes d'échantillonnages définies et caractérisées topographiquement (chaque toposéquence faisant l'objet d'un levé topographique détaillé de son profil (figure 5.1), il faut encore choisir les points de mesure de la géosphère le long de ces dernières, en d'autres termes, déterminer l'emplacement des *relevés du milieu* qui servent à caractériser les agencements verticaux du milieu naturel et à comprendre l'ordonnance à l'intérieur de chacun de ses géons. Dans ce cas encore, il faut le faire rigoureusement afin de ne pas effectuer deux mesures *identiques* pour un même ensemble, un seul relevé étant suffisant à la caractérisation d'un géon. Même si cela n'est pas préjudiciable au niveau de l'analyse, la duplication d'un relevé donné implique une redondance inutile et impose un temps plus important imparti pour la collecte des données.

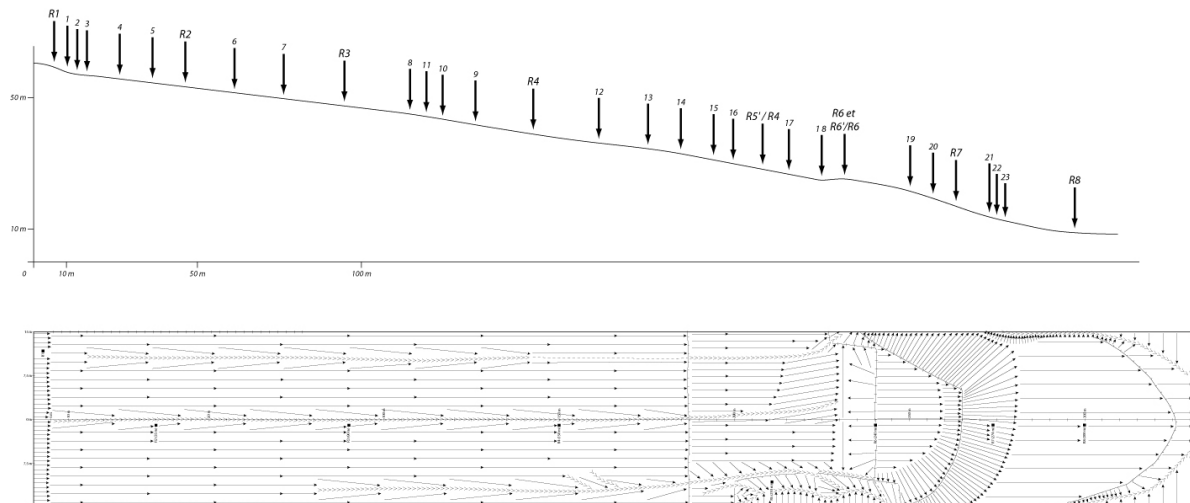


Figure 5.1 : Positionnement des relevés le long d'une toposéquence (Kamech, toposéquence 1).

Cette figure, réalisée à partir des observations collectées sur le terrain, présente la première toposéquence du bassin versant de Kamech (KAM Q1) en coupe et en plan. Cette figure permet de montrer comment sont définis les emplacements des relevés (noté Rx sur la coupe et sur la carte) en fonction des changements d'inclinaison de la pente et de la longueur de l'unité topographique. Ainsi, les relevés R1, R5, R6, R7 et R8 s'inscrivent dans des unités topographiques uniques clairement délimitées par des inflexions de pente alors que R2, R3, R4 et R5'/R4 appartiennent à une même unité topographique dont la longueur impose la réalisation de plusieurs relevés pour sa caractérisation. Les emplacements matérialisés par de simples numéros représentent les forages réalisés à l'aide d'une tarière et dont le but est de suivre les changements du milieu qui surviennent entre deux relevés (c.f : VII.1.1.4). La carte qui représente cette toposéquence sur une bande de 30 m de large matérialise par des flèches les directions des écoulements en surface, la densité des flèches variant en fonction de l'inclinaison de la pente. Sur cette carte il est possible de constater que tous les relevés ne sont pas parfaitement alignés sur l'axe de la toposéquence. Ceci est essentiellement dû à l'occupation du sol : s'il est possible d'ouvrir une fosse pédologique dans une friche ou une jachère, il n'est pas concevable de le faire sur des parcelles agricoles cultivées ; de ce fait, il est parfois nécessaire de créer des *relevés virtuels* qui correspondent à des points d'observation fictifs pour lesquels sont superposés des informations concernant les hoplexols supérieurs d'un point de la géosphère et des informations concernant les hoplexols inférieurs d'un autre lieu qui lui est proche spatialement et *statistiquement*. Sont dans ce cas les relevés R5'/R4 et R6'/R6. Dans la mesure du possible, ce type de relevé doit bien entendu être évité.

La règle qui s'applique est de placer un relevé à chaque changement d'inflexion de la pente le long de la toposéquence, les modifications dans le profil topographique traduisant généralement de changements significatifs en terme de composition et d'organisation du milieu. De ce fait, une facette topographique identifiée le long de la toposéquence (et qui correspond bien entendu aux mêmes facettes que celles analysées dans le chapitre précédent) donne lieu, théoriquement, à un seul et unique relevé pour la caractériser. Cependant certaines facettes, notamment celles dont la longueur est importante, peuvent présenter des changements d'organisation entre leur amont et leur aval. Ces changements correspondent à autant de géons et même à des segments différents répartis le long de la toposéquence. La plupart des facettes de glacis par exemple, qu'il s'agisse d'Abdeladim ou d'El Hnach, sont dans ce cas. Ainsi, pour les facettes de grande taille, l'ouverture de plusieurs fosses pédologiques, et par conséquent la réalisation de plusieurs relevés, est nécessaire. Le problème qui se pose cependant est de savoir comment placer ces relevés. En effet, lorsque les changements surviennent sous la surface du sol (surtout pour ceux qui se font à des profondeurs importantes) ils ne sont pas perceptibles directement. Souvent, aucun indicateur n'est visible en perception directe. Il s'agit alors de chercher rapidement où se font les principaux changements avant de procéder à l'ouverture des fosses et à l'analyse complète du milieu à proprement parler. Cette recherche rapide peut être effectuée à l'aide de *quelques coups de tarière*, outil pratique pour suivre les changements sous la surface du sol sans toutefois en permettre leur analyse approfondie.

Enfin, lorsque les milieux sont contrastés latéralement, sans pour autant s'éloigner outre mesure de l'axe de la toposéquence ou qu'il présente des états des géons différents, il convient de multiplier les observations verticales de la géosphère. Les relevés secondaires réalisés, c'est-à-dire ceux qui ne sont pas directement placés dans l'axe du transect amont / aval, peuvent prendre la forme d'un relevé complet destiné à caractériser l'ensemble du profil. Ces cas sont relativement rares et ne se réalisent que lorsqu'un doute existe quant à la composition du métaplexion inférieur ou de l'infraplexion (d'ailleurs là aussi un forage à la tarière préalable est indispensable pour s'économiser l'ouverture et le traitement d'un relevé). De ce fait, les relevés secondaires se limitent souvent à l'observation directe de ce qui se situe dans et au dessus du métaplexion strict (figure 5.1, relevé R5'/R4). Sont ainsi différenciés des relevés entre une parcelle en jachère (relevé complet du milieu) et des relevés dans les parcelles agricoles voisines (très fréquent sur Kamech) ou encore des relevés réalisés directement au pied des arbres et d'autres dans leur périphérie là où la surface du sol n'est pas sous la protection des frondaisons (très fréquent sur Abdeladim) et qui caractérisent autant de géons différents.

Les relevés du milieu naturel sont donc les points d'entrée nécessaires pour la compréhension et l'analyse des composantes de la géosphère et de leurs arrangements verticaux et latéraux. Les relevés du milieu permettent en effet la différenciation et la caractérisation des hoplexols, systèmes élémentaires de la géosphère et enveloppes à l'intérieur desquelles les principaux processus se déroulent. De ce fait, ils sont indispensables à la distinction, à la description et à l'analyse des géons et des géotopes, qui sont, rappelons-le, une succession verticale d'hoplexols en un lieu donné. Il convient toutefois de préciser que ce type de relevé détermine le géon à un instant T et qu'il ne tient pas compte de ses changements dans le temps. Un géon correspond en effet à une série de changements d'états dans le temps, dont les transformations quotidiennes, qui s'opèrent de manière linéaire ou cyclique suivant les cas, peuvent être regroupées en états saisonniers, annuels ou pluriannuels. Par conséquent, il est plus juste de dire qu'un relevé du milieu correspond à un état du géon plus qu'à un géon. Si le travail de terrain réalisé pour cette thèse ne permet pas de déterminer ces changements d'états, ceux-ci

seront tout de même pris en compte grâce aux travaux de Faïza Allouch-Khébour (thèse en cours à l'Université de Toulouse le Mirail, sous la direction de J-C. Filleron) qui les a caractérisés pour certaines toposéquences.

V.1.1.3 - La définition des enveloppes de la géosphère et relevé des composantes du milieu naturel.

La phase de différenciation des hoplexols et d'identification des composantes tangibles de la géosphère est un moment crucial de l'analyse. C'est aussi l'étape la plus longue et celle qui nécessite le plus de rigueur. Il s'avère en effet que tous les traitements statistiques ainsi que les conclusions qu'ils permettent de réaliser reposent sur la qualité, l'homogénéité et la *complétude* de ces derniers. Tous les éléments visibles et directement perceptibles doivent faire, par conséquent, l'objet d'une identification et d'une quantification la plus précise possible.

La définition des hoplexols se fait pour chaque relevé. Un hoplexol correspond à une enceinte de développement donné à l'intérieur de laquelle s'organisent de manière particulière les différentes composantes de la géosphère qui s'y inscrivent. Chaque hoplexol est en ce sens unique et doit être traité comme tel, c'est-à-dire sans effectuer de comparaison avec ses voisins directs. Les rapprochements viennent en effet plus tard dans l'analyse, lors des traitements statistiques. Toutefois, si les comparaisons ne sont pas de mise sur le terrain, il est tout de même nécessaire d'observer longuement et dans son intégralité le profil vertical établi par chaque relevé de milieu pour saisir les changements qui s'y opèrent. Toutes les modifications du profil, dans ses composantes, dans leur volume ou encore dans leur organisation, doivent être repérées : ce sont elles qui permettent la délimitation et la différenciation des hoplexols qui le composent. La seule règle qui s'applique ici est d'en répertorier le plus grand nombre possible. Il sera toujours temps, lors des traitements sur les données, de regrouper des hoplexols similaires alors qu'il sera indéniablement impossible d'en ajouter un qui aurait été oublié au cours de la phase de différenciation sur le terrain.

Chaque hoplexol identifié doit ensuite être nommé et localisé précisément dans le relevé, qui lui-même est localisé le long de la toposéquence et donc dans le paysage. Son développement et sa complexité doivent être mesurés.

La mesure du développement est la plus simple à réaliser, puisqu'il s'agit simplement de préciser sa hauteur ou sa profondeur. Celle de la complexité est plus ardue : c'est à ce moment de l'analyse que les composantes tangibles du milieu naturel sont relevées en s'appuyant sur la *Fiche Horent* (Horent, 1980 in Richard, 1989) dont un modèle est présenté en figure 5.2. Chaque ligne correspond à une des composantes *visibles* de l'hoplexol. Les composantes sont elles mêmes décrites dans les 8 colonnes de cette fiche, au moyen du vocabulaire de l'ATM et des règles de partage sémantique et de combinaison langagière qu'il décrit. Il est important de noter que seule la colonne 1, c'est-à-dire celle qui correspond au diagnostic primaire (et son éventuel intergrade en colonne 2) est vraiment indispensable à l'analyse. Les autres viennent surtout préciser cet orthotype et sont remplies uniquement dans le cadre de relevés très détaillés. La complexité de l'hoplexol réside, de ce fait, dans le nombre de composantes qu'il présente et non dans le détail de l'analyse de chaque composante. Plus un hoplexol contient de composantes et plus il est complexe. Et inversement. Quoi qu'il en soit, chaque composante identifiée, quel qu'en soit le niveau de détail, doit faire l'objet d'une quantification chiffrée. Cette quantification est indispensable à la comparaison des hoplexols entre eux : elle permet de les confronter au travers de traitements de type Analyse Factorielle des Correspondances et classifications numériques et par là même d'en définir des types similaires.

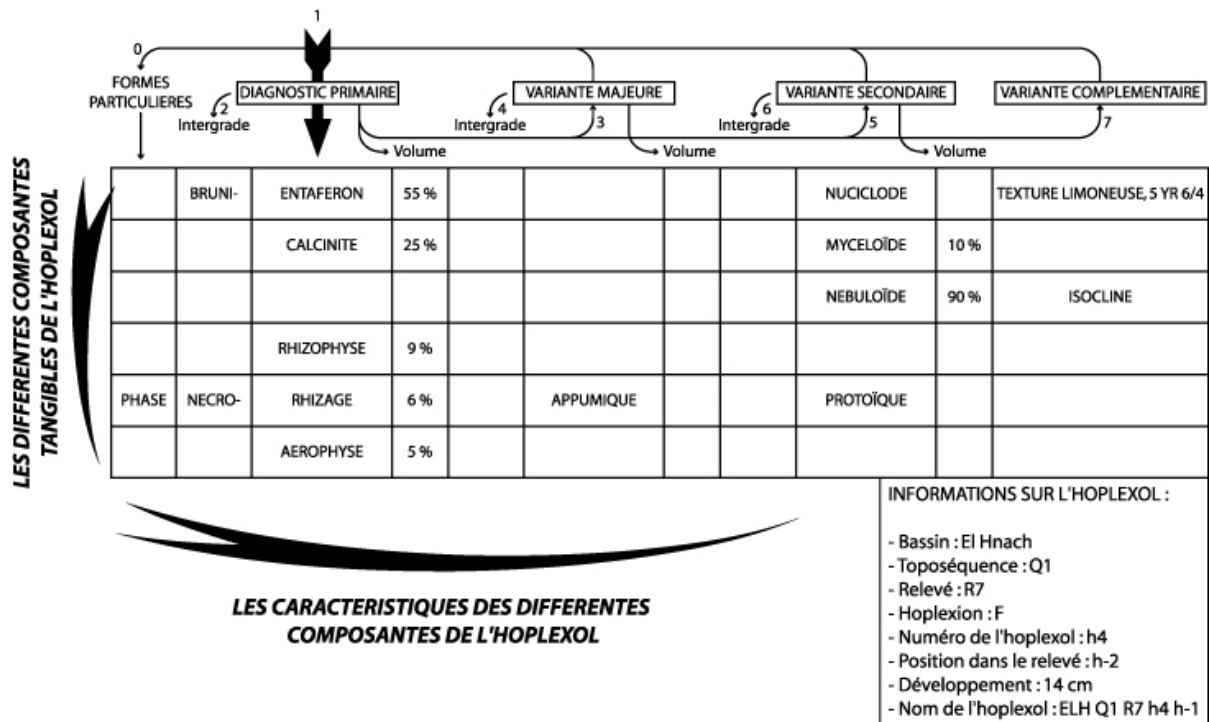


Figure 5.2 : Modèle de *Fiche Horent*, utile à la collecte des composantes du milieu naturel identifiées dans chaque hoplexol. (D'après Richard, 1989).

Plusieurs méthodes de quantification des composantes du milieu naturel sont à signaler. Il est possible d'en mesurer la *masse*, la *densité*, le *volume apparent*... Toutefois nous retiendrons ici que les méthodes les plus faciles à mettre en œuvre et qui n'entraînent pas de destruction du milieu naturel. La mesure des masses ou des densités des composantes tangibles du milieu naturel sont donc exclues puisqu'elles nécessitent d'une part un temps de travail considérable pour prélever les différents éléments à mesurer et d'autre part ce prélèvement doit se faire à une échelle qui conduit irrémédiablement à la dévastation du milieu : la mesure des *masses* d'un couvert végétal forestier (de même que celle d'un sol) nécessite, pour être pertinente, l'abattage des pans entiers de forêts puis de peser chacune de ses parties (les troncs, les feuillages...). Le temps de réalisation d'une telle opération est évidemment trop important pour être reproductible et le saccage du milieu naturel inhérent à une telle opération n'est pas réellement envisageable sur le plan scientifique et éthique. Notons toutefois que ces méthodes furent fréquemment utilisées dans les pays ex-soviétiques dans le cadre de l'analyse des géosystèmes mais les moyens aussi bien techniques qu'humains dont ils disposaient n'étaient en aucun cas comparables à ceux alloués pour cette thèse... Ainsi, seule l'estimation du *volume apparent* des composantes de l'hoplexol est envisageable : la méthode est très rapide à réaliser et n'entraîne pas de destruction au niveau du milieu naturel. L'estimation des volumes se fait en fonction de l'appréciation visuelle des surfaces présentées par comparaison avec des chartres graphiques (du type de celles établies dans le code Munsell). Bien qu'elle soit assez critiquable sur le principe cette technique est souvent utilisée et offre des résultats tout à fait satisfaisants.

Chaque hoplexol de chaque relevé est ainsi identifié et mesuré, ses composantes sont relevées à l'aide du vocabulaire intégrateur de l'ATM et leur volume apparent estimé. Cette phase de l'analyse est probablement la plus longue et la plus contraignante, mais elle est absolument indispensable puisqu'elle correspond à la collecte des données à proprement parler. Une dernière étape sur le terrain reste toutefois à réaliser : il s'agit de comprendre comment les

différents hoplexols changent de l'amont vers l'aval, le long de la toposéquence (et aussi de part et d'autre de celle-ci).

V.1.1.4 - Le suivi des changements latéraux des hoplexols.

Enfin, lorsque tous les relevés sont analysés, la dernière étape consiste à réaliser un suivi à la tarière des hoplexols par forages successifs le long de la toposéquence (figure 5.1 et 5.3). Le suivi latéral ne peut se faire qu'à la fin de l'étude d'une toposéquence donnée.

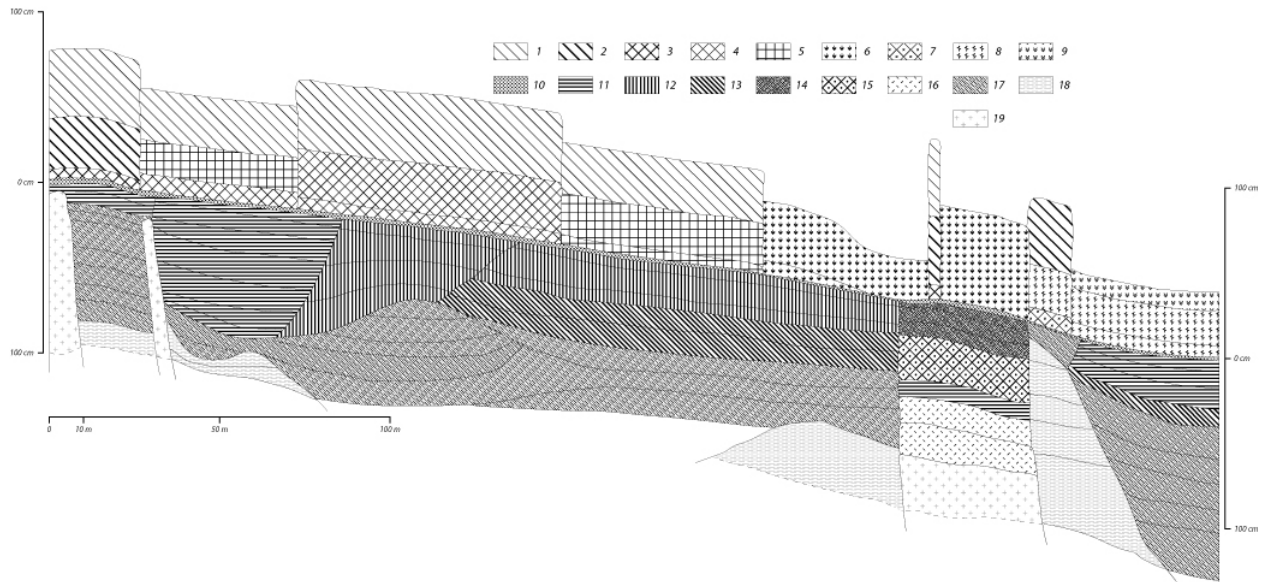


Figure 5.3 : Représentation du milieu naturel le long de la première toposéquence de Kamech (seuls les matériaux dominants dans chaque hoplexol sont représentés sur la coupe).

Cette représentation est réalisée grâce à l'analyse de 8 relevés complets et 2 relevés partiels du milieu naturel ainsi que par la mise en œuvre d'une trentaine de forages à la tarière dont le but est de percevoir les changements qui surviennent entre 2 relevés successifs le long de la toposéquence. L'emplacement des relevés et des forages à la tarière est présenté en figure 5.1.

Légende : 1 – Cauli-kortode ; 2 – Kortode graménéen ; 3 – Kortode géodescent ; 4 – Kortode pubescent ; 5 – Kortode (nature diverse et trop variés pour être tous différenciés) ; 6 – Gramen anthropique ; 7 – Nanophyton spinescent ; 8 – Nanophyto-kortode ; 9 – Gramen ; 10 – Dermilite ; 11 – Brunichron ; 12 – Entaféro-brunichron ; 13 – Isa-brunichron ; 14 – Bruni-pasmmiton ; 15 – Régo-psammiton ; 16 – Pardi-réducton ; 17 – Isaltérîte (marneux) ; 18 – Alté-tanolite (marneux) ; 19 – Alté-réglolite (gréseux). Classés par hoplexion : de 1 à 9, matériaux appartenant au métaplexion supérieur ; 10, matériaux appartenant au métaplexion strict ; De 11 à 13, matériaux appartenant (le plus souvent) au métaplexion inférieur ; de 14 à 19, matériaux appartenant (le plus souvent) à l'infraplexion. (Termes définis par : Richard, Khan & Chatelin, 1977 ; Richard, 1989 ; Lozet & Mathieu, 1997 ; Da Lage et Métailié, 2000 ; Rambaud & Waechter, 2001 ; Richard 2003).

Ce suivi des hoplexols sert à déterminer les extensions latérales des géons, non seulement le long de la toposéquence mais aussi de part et d'autre de celle-ci et à caractériser les transitions qui surviennent entre deux géons consécutifs. Cette étape est décisive pour la compréhension de l'organisation du milieu naturel puisqu'elle permet d'appréhender comment se font les changements entre deux points de mesure et donc entre deux géons. Or, si certaines modifications du milieu naturel apparaissent de manière intuitive, par exemple lors du passage d'un système de pente à un autre, il n'est pas toujours évident de les déceler sur le terrain. Grâce à cette approche très fine et très méthodique, même les changements les moins visibles à l'œil nu, notamment lorsqu'il s'agit d'espaces apparemment homogènes sur le plan topographique et géologique, apparaissent clairement. Il est alors possible de savoir à quels

endroits ils surviennent et de comprendre comment et pourquoi ils s'opèrent. Un exemple d'analyse complète (relevés du milieu et suivi des hoplexols) est donné en figure 5.3.

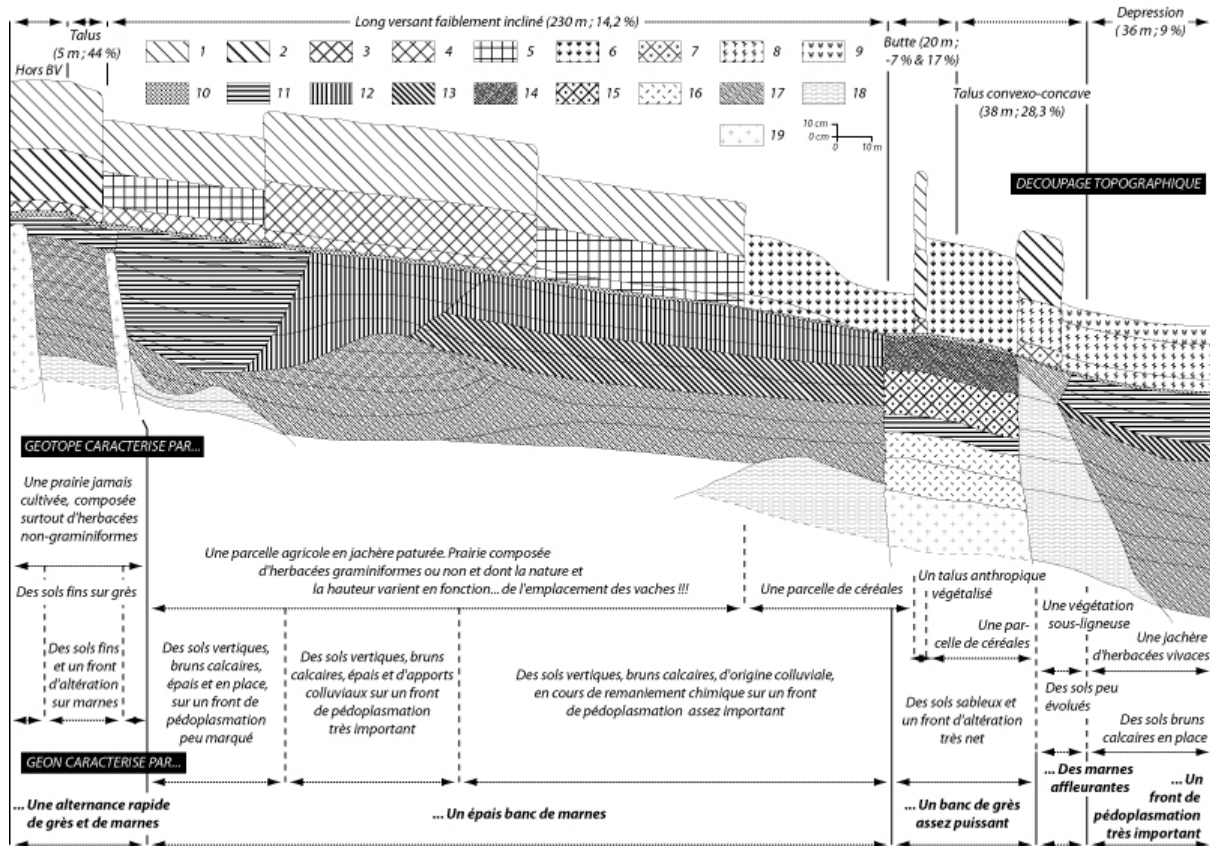


Figure 5.4 : Un exemple d'interprétation réalisé à partir des relevés de milieu et de leur suivi le long de la première toposéquence de Kamech.

Légende : 1 – Cauli-kortode ; 2 – Kortode graménéen ; 3 – Kortode géodescent ; 4 – Kortode pubescent ; 5 – Kortode (nature diverse et trop variés pour être tous différenciés) ; 6 – Gramen anthropique ; 7 – Nanophyton spinescent ; 8 – Nanophyto-kortode ; 9 – Gramen ; 10 – Dermilite ; 11 – Brunichron ; 12 – Entaféro-brunichron ; 13 – Isa-brunichron ; 14 – Bruni-pasmmiton ; 15 – Régo-psammiton ; 16 – Pardi-réducton ; 17 – Isaltérite (marneux) ; 18 – Alté-tanolite (marneux) ; 19 – Alté-régolite (gréseux). Classés par hoplexion : de 1 à 9, matériaux appartenant au métaplexion supérieur ; 10, matériaux appartenant au métaplexion strict ; De 11 à 13, matériaux appartenant (le plus souvent) au métaplexion inférieur ; de 14 à 19, matériaux appartenant (le plus souvent) à l'infaplexion. (Termes définis par : Richard, Khan & Chatelin, 1977 ; Richard, 1989 ; Lozet & Mathieu, 1997 ; Da Lage et Métaillé, 2000 ; Rambaud & Waechter, 2001 ; Richard 2003).

Cette étape permet de reconstruire mentalement le paysage et d'appréhender d'une part comment les géons s'inscrivent dans les facettes topographiques présentes le long de la toposéquence et d'autre part de définir comment ils s'organisent les uns par rapport aux autres le long du transect amont / aval. Il est dès lors possible d'en tirer un grand nombre d'informations sur l'organisation du milieu naturel (figure 5.4) et même de réaliser un découpage en segment de paysages à partir des renseignements fournis. Toutefois, dans un souci de simplification, il est nécessaire de synthétiser la masse de données sur le milieu naturel rendue disponible par cette approche. Il paraît en effet difficilement envisageable de rester à ce stade de l'analyse pour expliquer les chemins de l'eau, à moins de ne faire que des traitements ponctuels mais qui n'auraient pas grand sens ici : une multitude d'observations sont similaires ou quasi-similaires statistiquement, même si elles sont très éloignées spatialement.. De ce fait, une synthèse statistique en vue de réduire l'information disponible à

quelques types d'organisations doit être opérée avant d'aborder la question de l'hydrodynamique des paysages. C'est d'ailleurs l'objectif du paragraphe V.2. Au cours de cette synthèse, les géons et les segments apparaissant en perception directe sont remplacés par les types qu'ils permettent de décrire, afin d'élever les observations au rang de modèle explicatif de l'organisation du milieu naturel.

Les considérations générales présentées dans ce premier paragraphe expliquent la démarche suivie dans cette étude pour l'analyse du milieu naturel. D'ailleurs les éléments d'analyse exposés s'appliquent pour caractériser tous les milieux du globe. Il s'agit maintenant, avant d'aborder le détail des traitements statistiques, de préciser les localisations des toposéquences et des relevés ainsi que les données recueillies sur chaque bassin versant.

V.1.2 - Choix des toposéquences, positionnement des relevés et données recueillies.

Pour chaque bassin versant retenu, plusieurs toposéquences sont définies pour tenter de couvrir et de caractériser les changements qui surviennent au sein de chacun d'eux. Les trois bassins versants sont pour l'instant exposés indépendamment, dans l'ordre qui va du plus simple au plus complexe au niveau organisationnel : Abdeladim en premier lieu, Kamech ensuite et El Hnach enfin.

Avant d'aborder la présentation des données pour chaque bassin, il est nécessaire de préciser la liste des abréviations employées :

- ABD, KAM et ELH : Abdeladim, Kamech et El Hnach,
- Q : toposéquence (numérotées de 1 à n),
- M : segment de paysage (numérotés de 1 à n pour chaque séquence),
- G / g : géon et géotope (numérotés de 1 à n pour chaque séquence),
- R : relevé du milieu (numérotés de 1 à n pour chaque séquence),
- h : hoplexol (numérotés de 1 à n dans chaque relevé, du haut vers le bas),
- h+ et h- : position de l'hoplexol par rapport à la surface du *sol* ; l'hoplexol "h-1" étant toujours celui qui correspond à la surface du *sol* généralement occupé par le dermilite.

Ces abréviations sont celles qui servent à nommer et à différencier les toposéquences, relevés, segments, hoplexols sur le terrain et dans les tableaux de données utiles aux traitements statistiques. Mises bout à bout, elles permettent la localisation précise de chaque entité individualisée. Ainsi l'hoplexol nommé « KAM Q2 R4 h5 h-3 » correspond au cinquième hoplexol (positionné verticalement à h-3, c'est-à-dire deux places sous la surface du *sol*), du quatrième relevé de la seconde toposéquence de Kamech. Et ainsi de suite ! Ces *noms* correspondent à leurs identifiants propres (en quelque sorte leur clé primaire) qui permettent de les individualiser dans les tableaux de données tout en sachant toujours à quoi ils correspondent.

V.1.2.1 - Le bassin versant d'Abdeladim.

La collecte de données pour Abdeladim fut réalisée au cours des mois d'avril et mai 2003. Cette campagne de terrain a permis de distinguer 40 relevés le long des deux séquences paysagiques utiles à la compréhension des organisations spatiales présentes sur ce bassin versant (figure 5.5).



Figure 5.5 : Localisation des toposéquences et des relevés sur le bassin versant d'Abdeladim.

Les deux séquences présentées couvrent une grande partie des organisations topographiques (assimilées aux types de facettes définies dans le chapitre IV) rencontrées dans cet espace. La première toposéquence, longue d'approximativement 400 mètres et orientée Sud-est / nord-ouest, traduit des facettes de collines et de glacis situées à l'est du bassin versant (les facettes de type 1 et 6) au travers de 13 relevés. La seconde toposéquence affiche une longueur de 1,2 kilomètre. Elle permet la réalisation de 27 relevés et couvre 3 formations présentes dans cet espace : les facettes topographiques des jebels (type 3), celles du piémont (type 4) et celles du glacis (type 5). Au final, seules les facettes du type 2 ne sont pas traduites en terme de relevé, mais leur grande proximité organisationnelle avec les facettes de type 1 nous en dispense. Les 40 relevés de milieu ont permis l'identification de 574 hoplexols, définis par 81 composantes (dans l'absolu) du milieu naturel réparties dans les différents hoplexions de la manière suivante :

Tableau 5.1 : Les composantes du supraplexion (S).

Les 9 composantes du <i>supraplexion</i>
Aérophyse
Coni-paliphyse
Coni-pali-prophyse
Coni-péné-prophyse
Coni-pro-paliphyse
Coni-prophyse
Dendrigé
Nécro-stylagé
Stylagé

Tableau 5.2 : Les composantes du métaplexion supérieur (U).

Les 30 composantes du <i>métaplexion supérieur</i>		
Aérophyse	Coni-prophyse	Nanophytion
Bromon	Gigaépilite	Nanophyto-gramen
Cactus	Gramen	Nécro-cauli-kortode
Caryo-gramen	Gramen anthropique	Nécro-gramen
Caryo-gramen anthropique	Gramen phlogoïde	Nécro-kortode
Caryophytion	Hypso-caryophytion	Nécro-nanophytion
Cauli-gramen	Kortode	Nécrophytion
Cauli-kortode	Macroépilite	Nécro-stylagé
Concholite	Mesoépilite	Néo-nanophytion
Coni-pénéphytion	Microépilite	Stylagé

Tableau 5.3 : Les composantes du métaplexion strict (T).

Les 40 composantes du <i>métaplexion strict</i>			
Aérophyse	Dermilite	Macroépilite	Nécro-nanophytion
Bromon	Gigaépilite	Mesoépilite	Nécrophytion
Calcinite	Gramen	Microépilite	Nécro-rhizophyse
Caryophytion	Gramen phlogoïde	Microgravelon	Nécro-stylagé
Cauligé	Hypso-gigaépilite	Microgravelon sableux	Néo-nanophytion
Cauli-kortode	Hypso-macroépilite	Nanophytion	Nigru-nécrophytion
Concholite	Hypso-mesoépilite	Nanophyto-gramen	Phorophytion
Coni-Néophytion	Hypso-régolite	Nécro-cauligé	Rhizagé
Coni-pénéphytion	Kortode	Nécro-gramen	Rhizophyse
Coni-prophyse	Macro-coprumite	Nécro-kortode	Stylagé

Tableau 5.4 : Les composantes du métaplexion inférieur (F).

Les 33 composantes du <i>métaplexion inférieure</i>		
Aérophyse	Humite	Nécro-rhizagé
Alté-tanolite	Hypso-bromon	Nécro-rhizophyse
Alté-tassikérite	Isaltérite	Pardichron
Appumite	Macro-coprumite	Rhizagé
Brunichron	Macrogravelon	Rhizophyse
Bulborhize	Mélanumite	Tafé-brunichron
Calcinite	Mesogravelon	Tafékérite
Concholite	Micro-coprumite	Tafé-tassikérite
Entaféro-brunichron	Microgravelon	Tassi-brunichron
Gigagravelon	Microgravelon sableux	Tassikérite
Grumorphize	Nécrophyton	Tassi-tafékérite

Tableau 5.5 : Les composantes de l'infraplexion (I).

Les 33 composantes de l' <i>infraplexion</i>		
Aérophyse	Hydrophyse	Pardichron
Alté-tafékérite	Isaltérite	Psammiton
Alté-tafé-tassikérite	Macro-coprumite	Régo-lite
Alté-tanolite	Macrogravelon	Rhizagé
Alté-tassikérite	Mélanumite	Rhizophyse
Appumite	Mesogravelon	Tafé-brunichron
Brunichron	Micro-coprumite	Tafékérite
Calcinite	Microgravelon	Tafé-tassikérite
Concholite	Microgravelon sableux	Tanolite
Entaféro-brunichron	Nécro-rhizagé	Tassikérite
Gigagravelon	Nécro-rhizophyse	Tassi-tafékérite

Il s'agit là des diagnostics primaires des composantes directement perçues dans le milieu et relevées en tant que telles. De ce fait, de nombreuses nuances apparaissent. Toutefois, lors de la mise en forme statistique, certaines sont regroupées dans le but de simplifier et de clarifier l'analyse : les composantes les plus infimes, celles rencontrées seulement une ou deux fois dans l'ensemble des relevés et qui ne marquent pas de tendance significative sont éliminées ou rapprochées de composantes qui leur sont proches. Il est important de noter que chaque composante représente une variable d'un tableau de contingence regroupant tous les diagnostics primaires des trois bassins versants d'un hoplexion donné. Ainsi, si des récurrences notoires existent entre les trois paysages (et permettent leur comparaison), certaines composantes ne se réalisent que pour un seul d'entre eux et encore de manière infime. De ce fait, les prendre en compte dans l'analyse statistique n'a que peu de sens et alourdit les traitements. Cela sera présenté plus en détail dans les paragraphes suivants.

V.1.2.2 - Le bassin versant de Kamech.

Pour le bassin versant de Kamech, seules deux séquences théoriques suffisent à couvrir l'ensemble de l'espace : une implantée en rive droite et l'autre en rive gauche. Toutefois, afin de respecter la règle d'exploitabilité des séquences, il est nécessaire de scinder ces toposéquences en six morceaux : 2 en rive droite et 4 en rive gauche. L'importance de la mise en valeur est telle qu'il est strictement impossible de travailler de manière continue de part et d'autre de l'oued. Cela n'a cependant que peu d'importance car l'ensemble du paysage est correctement représenté au travers de ces toposéquences. La campagne de terrain qui a permis la collecte de ces données fut réalisée durant les mois de mars et d'avril 2004. La localisation des toposéquences et des relevés de milieu est présentée en figure 5.6.



Figure 5.6 : Localisation des toposéquences et des relevés pour le bassin versant de Kamech.

La campagne de terrain a permis de caractériser le milieu au travers de 560 hoplexols répartis dans 49 relevés établis le long des 6 séquences présentées en figure 5.6. L'ensemble des contraintes topographiques imposées par ce relief sont ainsi couvertes : la première toposéquence permet la différenciation des géons qui s'installent dans les facettes topographiques du type 2, les ensembles de collines situées en rive droite (facettes de type 5) sont couvertes par les toposéquences 4 et 4' (ces deux séquences parallèles et très proches permettent de caractériser l'amont et l'aval de ces collines ainsi que les changements qui surviennent entre ces deux positions extrêmes). La rive gauche est aussi entièrement représentée : les séquences 2, 3 et 6 définissent les talus longitudinaux (type 3) et les collines (type 4) qui s'inscrivent entre deux lignes de talus (dans ce cas encore une série de forages à la tarière permet de suivre le milieu entre les séquences 2 et 3 dans le but de comprendre ce qu'il advient entre l'amont et l'aval des collines). Enfin, la cinquième toposéquence permet

d'analyser les versants situés à l'amont de la rive gauche et déterminés par des facettes topographiques inscrites dans le premier type défini.

La collecte d'informations sur le terrain a permis de distinguer 105 composantes du milieu naturel dans l'ensemble des hoplexols de ce paysage. Signalons toutefois que le milieu naturel de Kamech, même s'il affiche globalement le même nombre d'hoplexols qu'Abdeladim, n'est pas complet : du fait des fortes pressions anthropiques, les enceintes du supraplexion n'existent pas dans cet espace. Les analyses portent donc sur seulement 4 hoplexions. La répartition des composantes du milieu naturel dans les différents hoplexions est donnée dans les tableaux 5.6 à 5.10.

Tableau 5.6 : Les composantes du métaplexion supérieur (U).

Les 35 composantes du métaplexion supérieur			
Aérophyse	Cauli-kortode graménéen	Mesoépilite	Nécro-nanophyto-kortode anth.
Bromon	Gigaépilite	Microépilite	Nécrophytion
Caryo-gramen	Gigaépilite brunichrome	Nanophytion	Néo-nanophytion
Caryo-gramen anth.	Gramen	Nanophyto-gramen	Phorophytion
Caryo-kortode	Gramen anthropique	Nanophyto-kortode	Phycophytion
Caryophytion	Hypso-gigagravelon	Nanophyto-kortode anth.	
Cauligé	Kortode	Nécro-cauli-kortode	
Cauli-gramen	Kortode anthropique	Nécro-gramen	
Cauli-gramen anth.	Kortode graménéen	Nécro-gramen anth.	
Cauli-kortode	Macroépilite	Nécro-kortode	

Tableau 5.7 : Les composantes du métaplexion strict (T).

Les 44 composantes du métaplexion strict			
Aérophyse	Dermilite	Hypso-récolite	Microgravelon sableux
Alté-tanolite	Gigaépilite	Kortode	Nanophytion
Appumite	Gramen	Kortode graménéen	Nanophyto-kortode
Blastolite	Humite	Macro-coprumite	Nécro-nécrumite
Bromon	Hydrophyse	Macroépilite	Nécrophytion
Bryophytion	Hypso-gigaépilite	Mélanu-appumite	Nécrumite
Bulborhize	Hypso-gigagravelon	Mélanumite	Oxydon
Calcinite	Hypso-macroépilite	Meso-blastolite	Phorophytion
Caryophytion	Hypso-macrogravelon	Mesoépilite	Phycophytion
Cauli-kortode	Hypso-mesoépilite	Micro-blastolite	Rhizagé
Concholite	Hypso-mesogravelon	Microgravelon	Rhizophyse

Tableau 5.8 : Les composantes du métaplexion inférieur (F).

Les 52 composantes du métaplexion inférieur			
Aérophyse	Concholite	Isaltérite	Microgravelon sableux
Allotérite	Entaféro-allotérite	Isa-vertichron	Nécrophytion
Alté-blastolite	Entaféro-brunichron	Macro-blastolite	Ovoxydon
Alté-tanolite	Entaféro-isaltérite	Macro-coprumite	Oxydon
Alté-tassikérite	Entaféro-vertichron	Macrogravelon	Pardichron
Appumite	Gigagravelon	Marmoxydon	Psammiton
Blastolite	Grumorzize	Mélanu-appumite	Reducto-melanumite
Brunichron	Grumo-rhizophyse	Mélanumite	Reducton
Brunichron psammitique	Gypsite	Meso-blastolite	Régo-isaltérite sableux
Bruni-vertichron	Humite	Mesogravelon	Rhizagé
Bulborhize	Hydrophyse	Micro-blastolite	Rhizophyse
Calcinite	Hyspo-bromon	Micro-coprumite	Rudéfact
Caryophytion	Isa-brunichron	Microgravelon	Vertichron

Tableau 5.9 : Les composantes de l'infraplexion (I).

Les 48 composantes de l'infraplexion			
Aérophyse	Bruni-isaltérite	Isa-tanolite	Microgravelon sableux
Allo-isaltérite	Calcinite	Isa-vertichron	Nécrophytion
Allotérite	Concholite	Macro-blastolite	Ovoxydon
Allotérite gréseux rétichrome	Entaféro-allotérite	Macro-coprumite	Oxydon
Alté-blastolite	Entaféro-isaltérite	Macrogravelon	Pardichron
Alté-régolite	Entaféro-vertichron	Marmoxydon	Pardi-réducton
Alté-tanolite	Gigagravelon	Mélanumite	Régo-gravelon
Alté-tassikérite	Hydrophyse	Meso-blastolite	Régo-isaltérite sableux
Appumite	Hypso-caryophytion	Mesogravelon	Régolite
Blastolite	Isa-brunichron	Micro-blastolite	Rhizagé
Brunichron	Isaltérite	Micro-coprumite	Rhizophyse
Brunichron psammitique	Isaltérite gréseux rétichrome	Microgravelon	Tanolite

Le paysage de Kamech présente plus de composantes qu'Abdeladim, ce qui laisse sous-tendre une complexité plus importante, même si de multiples regroupements sont à prévoir (pour les mêmes raisons que celles évoquées plus haut).

V.1.2.3 - Le bassin versant d'El Hnach.

Les données utiles à la caractérisation du paysage d'El Hnach furent collectées en deux temps : Les toposéquences 1, 2 et 3, qui permettent de définir la partie centrale du bassin versant firent l'objet d'une première campagne de terrain en novembre - décembre 2002, la quatrième toposéquence fut étudiée en mars 2003.

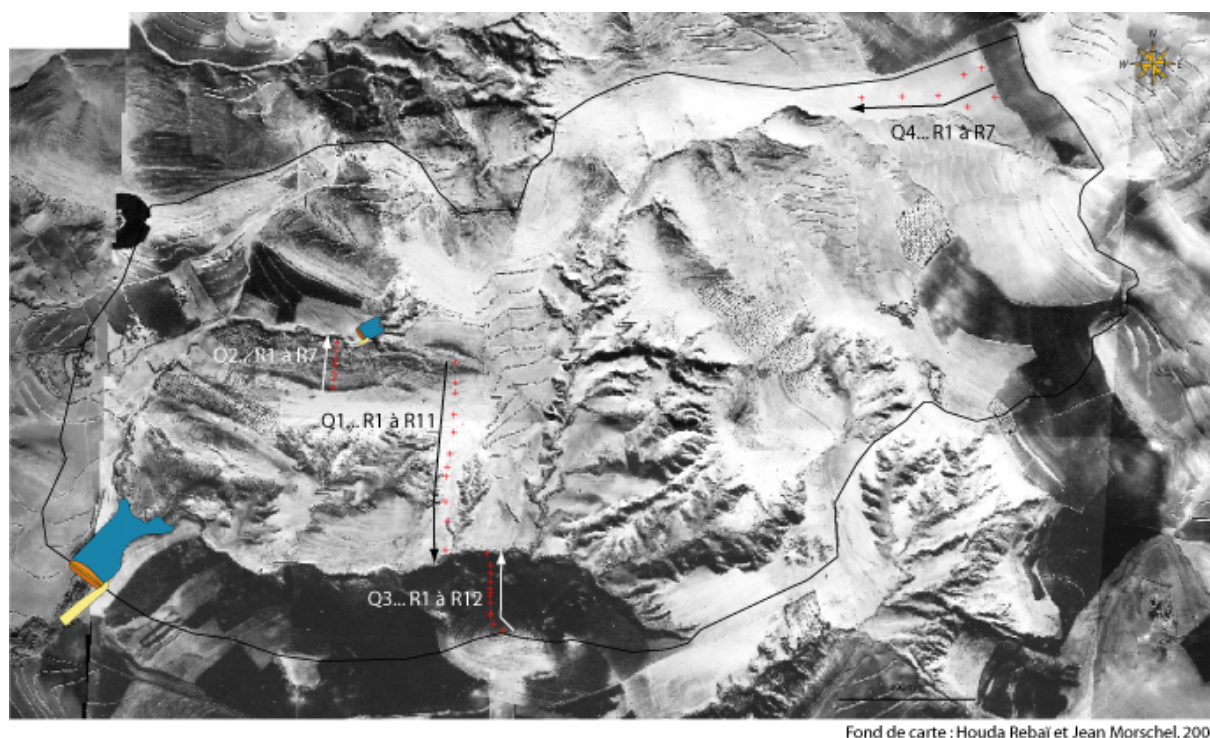


Figure 5.7 : Localisation des toposéquences et des relevés pour le bassin versant d'El Hnach.

Ce sont en tout 27 relevés de milieu qui sont étudiés sur ce bassin versant (figure 5.7). Ils permettent l'identification et la différenciation de 292 hoplexols (soit moitié moins que sur les deux autres bassins versants) dans lesquels s'inscrivent quelques 76 composantes différentes. La liste de ces composantes est donnée dans les tableaux 5.10 à 5.14.

Tableau 5.10 : Les composantes du supraplexion.

Les 6 composantes du supraplexion		
Aérophyse	Dendrigé	Nanophyto-kortode
Cauligé	Nanophyse	Paliphyse

Tableau 5.11 : Les composantes du métaplexion supérieur.

Les 26 composantes du métaplexion supérieur		
Aérophyse	Gramen	Nanophyto-gramen
Bryophytion	Gramen anthropique	Nanophyto-kortode
Bromon	Kortode	Nécro-gramen
Brunichron	Macro-coprumite	Nécro-nanophytion
Cauligé	Macroépilite	Nécro-nanophyto-gramen
Cauli-kortode	Mesoépilite	Nécrophytion
Concholite	Microépilite	Rudéfact
Dendrigé	Nanophyse	Stylagé
Giga-épilite	Nanophytion	

Tableau 5.12 : Les composantes du métaplexion strict.

Les 36 composantes du métaplexion supérieur			
Aérophyse	Gigaépilite	Macro-blastolite	Nanophyto-gramen
Bromon	Gramen	Mesoépilite	Nanophyto-kortode
Brunichron	Grumorzize	Mesogravelon	Nécro-gramen
Bryophytion	Hypso-gigaépilite	Micro-coprumite	Nécro-nanophytion
Calcinite	Hypso-macroépilite	Microépilite	Nécrophytion
Cauligé	Hypso-mesoépilite	Microgravelon	Phycophytion
Cauli-kortode	Kortode	Microgravelon sableux	Rhizagé
Concholite	Macro-coprumite	Nanophyse	Rhizophyse
Dermilite	Macroépilite	Nanophytion	Rudéfact

Tableau 5.13 : Les composantes du métaplexion inférieur.

Les 36 composantes du métaplexion inférieur			
Aérophyse	Calcinite	Hydrophyse	Micro-blastolite
Allotérite	Concholite	Isa-entaféron	Nécrophytion
Alté-récolite	Entaféro-brunichron	Isaltérite	Nécro-rhizagé
Alté-tafékérite	Entaféro-isaltérite	Kortode	Oxydon
Alté-tanolite	Entaféron	Macro-coprumite	Régo-tanolite
Alté-tassikérite	Gigagravelon	Macrogravelon	Rhizagé
Brunichron	Blastolite	Marmoxydon	Rhizophyse
Bruni-entaféron	Gypsite	Mesogravelon	Tafékérite
Bulborhize	Humite	Microgravelon	Zoolite

Tableau 5.14 : Les composantes de l'infraplexion.

Les 30 composantes de l'infraplexion		
Aérophyse	Concholite	Nécro-rhizagé
Allotérite	Entaféro-isaltérite	Nécro-rhizophyse
Alté-récolite	Gigagravelon	Oxydon
Alté-régo-tanolite	Blastolite	Récolite
Alté-tafékérite	Humite	Régo-tanolite
Alté-tanolite	Isaltérite	Rhizagé
Alté-tassikérite	Macrogravelon	Rhizophyse
Brunichron	Marmoxydon	Tafékérite
Calcinite	Mesogravelon	Tanolite
Calcinite christoïde	Microgravelon	Tassikérite

Dans le cas d'El Hnach, les différentes toposéquences établies s'efforcent de faire ressortir au mieux les ensembles qui existent dans ce paysage. Ainsi, la première toposéquence permet de comprendre la succession qui s'opère entre le relief calcaire et le glacié fossilisé qui s'étend à ses pieds. En outre, certains relevés (situés les plus en aval) permettent de couvrir les glaciés encore actifs de nos jours. Sont ainsi caractérisés les milieux qui figurent dans les facettes de type 2, 4 et 6. La seconde toposéquence couvre le revers de ce relief (facettes topographiques

de type 3) et permet également d'apporter quelques précisions sur les croûtes calcaires fossilisées du type 6. La troisième toposéquence, établie sur une des deux buttes qui ferment la partie sud du bassin versant. Les facettes du premier type sont ainsi caractérisées. Enfin, la dernière toposéquence complète les observations en permettant de déterminer les changements survenant dans la partie la plus en amont du bassin versant et représentée par les facettes de type 7 et 8. Au final, un seul ensemble n'est pas caractérisé : il s'agit des ravinements situés dans la partie centrale du paysage. Mais la grande simplicité du milieu naturel en ces lieux ainsi que l'extension planétaire de ce type de formation fait qu'il n'est pas nécessaire d'en réaliser une étude approfondie : le tanolite affleure partout et n'est recouvert que d'une fine pellicule d'altération. La végétation quasi inexistante, se résume à quelques touffes de graminées qui ne suffisent évidemment pas à protéger l'ensemble des actions hautement érosives du ruissellement. Apparentés à des badlands, ces formes d'érosion des marnes ont fait l'objet de nombreuses études générales et spécifiques si bien qu'il est relativement simple de retrouver, dans la bibliographie, les raisons de leur mise en place ainsi que les explications relatives à leur comportement hydrodynamique et érosif. De ce fait, la caractérisation paysagère et l'analyse des segments de paysages pour l'ensemble composé par les facettes topographiques de type 5 sont réalisées quelque peu différemment des autres. Malgré cela, elles sont présentes au terme de l'étude, lors de l'explication des chemins de l'eau dans le milieu naturel et des simulations du ruissellement et de l'érosion réalisées.

Les méthodes d'échantillonnage choisies permettent une caractérisation rapide et précise des paysages retenus dans le cadre de cette thèse. Une multitude de données visant à les décrire très finement est ainsi rendue disponible. Les données obtenues de cette manière peuvent d'ailleurs être traitées directement et déjà utilisées telles qu'elles pour déduire les chemins de l'eau dans les différentes organisations rencontrées au fil des paysages. Les résultats obtenus offriraient d'ailleurs une grande précision du simple fait qu'ils s'appuieraient sur des organisations réelles et rencontrées ponctuellement dans le paysage. Toutefois, cette approche n'est pas envisageable. En effet, formuler des hypothèses sur les comportements hydrodynamiques à partir des résultats bruts serait bien trop long à réaliser du fait de l'infinité de formes que prennent les organisations paysagères. Cela se traduirait nécessairement par une perte de temps considérable et par l'absence de reproductibilité de la démarche. Ceci est d'autant plus vrai que beaucoup de rapprochements peuvent être réalisés. De nombreuses observations sont en effet récurrentes (qu'il s'agisse d'hoplexols, de relevés et parfois même de successions plus larges) à l'intérieur d'un même paysage et parfois aussi entre plusieurs paysages différents, tant et si bien qu'il est plus intéressant de caractériser le *type moyen* auxquelles elles renvoient plutôt que de les traiter individuellement. En outre, ces rapprochements sont indispensables à la *modélisation explicative des paysages* et à la *simulation* des flux d'eau et de sols qu'elle autorise. De ce fait, ces données doivent avant toute autre chose faire l'objet de traitements statistiques en vue de ne faire ressortir les types d'hoplexols puis les types de relevés qui sont à la base de la synthèse paysagère et des cartes de segments de paysages.

V.1.3 - Quelques mots sur la chaîne des traitements.

Les données recueillies sur le terrain, organisées et parfaitement localisées, représentent une masse considérable de renseignements. Ces données pourraient être, bien entendu, utilisées directement pour expliquer les organisations paysagères et les flux qui leurs sont rattachés. Toutefois de multiples similitudes existent, traduisant d'arrangements qui se répètent à l'identique d'un lieu à l'autre. De ce fait, il apparaît comme nécessaire de réduire cette information brute, pouvant être représentée sous la forme d'un très grand tableau de données

comprenant plusieurs milliers de cellules, à *quelques types* d'organisations particulières et représentatives de ce que l'on rencontre sur le terrain.

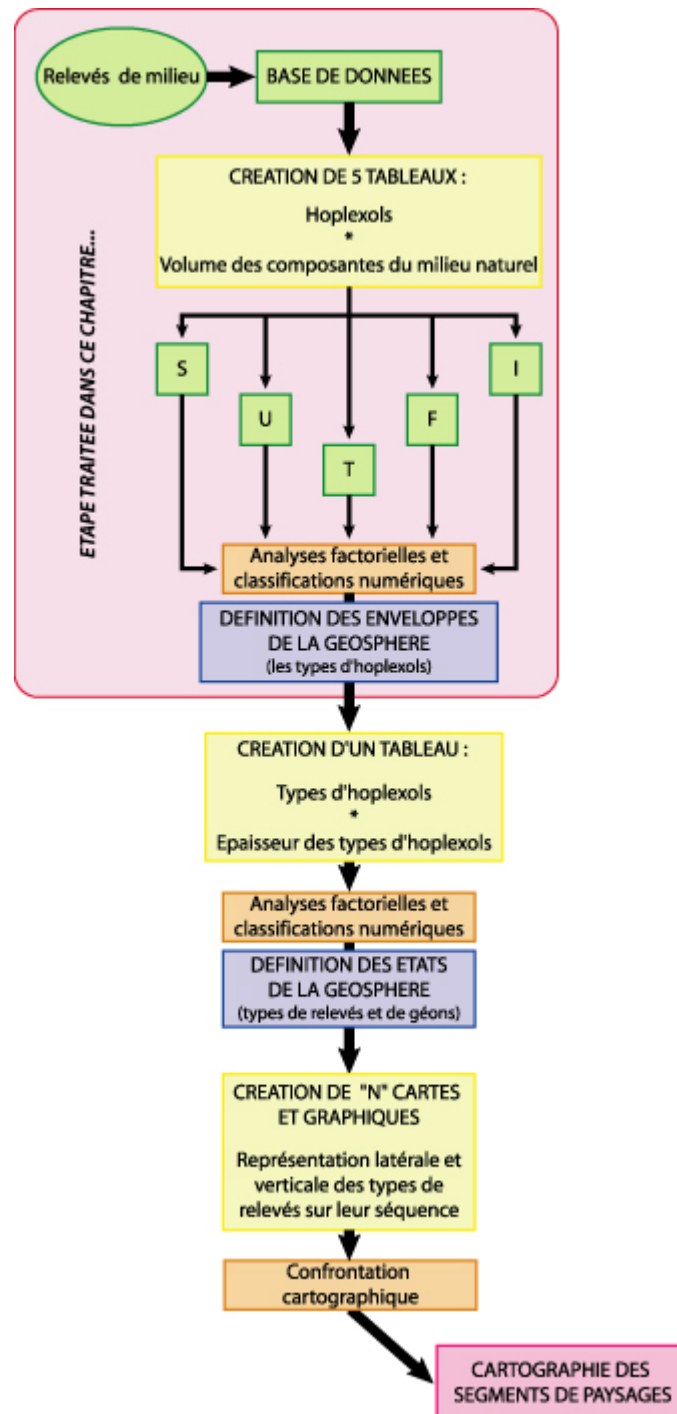


Figure 5.8 : la chaîne des traitements suivie pour l'établissement des types de géons... et des segments de paysages.

Légende : en vert, les données brutes (et leur mise en forme dans la base de données) ; en jaune, les mises en formes nécessaires aux traitements ; en rouge, les traitements numériques ou cartographiques réalisés ; en bleu, les résultats intermédiaires ; en rose, le résultat final. Source : d'après Ndiaye (1995), modèle modifié par Morschel (2006).

Le passage des géons observés et mesurés sur le terrain à des géons *statistiques* nécessite de suivre trois étapes. Chacune des phases de l'analyse est partagée entre traitements statistiques, description des résultats et remise en forme de l'information avant de pouvoir passer à l'étape suivante. La démarche générale (figure 5.8), proposée par Ndiaye (1995), s'appuie sur deux séries d'analyses factorielles des correspondances (AFC) et de classifications numériques dont le but est de définir les *types d'hoplexols* puis les *types de relevés* qui représentent autant de *types de géons*. Les traitements réalisés ici sont purement statistiques, mais ils renvoient nécessairement à la connaissance intrinsèque que l'on a des paysages. A ce titre, les opérations réalisées correspondent plus à un support facilitant la lecture des tableaux de données et les interprétations qu'à la création d'un modèle basé sur les relations statistiques entre différentes variables quantitatives pour un milieu donné. La nature qualitative des données collectées sur le terrain ne permet d'ailleurs pas ce type de traitements. Nous ne sommes toutefois pas les seuls à utiliser ce genre de méthodes et ces dernières ont déjà maintes fois fait leurs preuves en ce qui concerne les analyses du milieu naturel, qu'il s'agisse d'études sur le domaine du vivant ou du monde minéral. Ces techniques sont par exemple fréquemment employées par les botanistes, les entomologistes, les ethnologues ou encore les pédologues pour regrouper les multiples informations dont ils disposent en quelques types représentatifs. De nombreuses références, disponibles sur Internet, confirment d'ailleurs ce propos (ces dernières ne sont toutefois pas citées ici car trop éloignées de nos préoccupations). Chaque étape des traitements est reprise dans le détail (mise en forme des données...) dans la suite de ce chapitre.

Les deux premières séries de traitements permettent donc de définir statistiquement les types de géons, et par là même de déterminer les différentes organisations *moyennes* auxquelles ils renvoient dans le milieu naturel. Ce sont d'ailleurs ces types qui seront affectés à la description des segments de paysages. Toutefois, les résultats proposés par ces analyses sont pour l'instant spatiaux dans le sens où ils ne renvoient pas encore à une cartographie établissant précisément leur localisation et favorisant l'interprétation de leurs successions dans le milieu. C'est donc dans la suite des traitements que le transfert d'échelle, du niveau ponctuel et *indépendant* au niveau global et *intégré*, est réalisé. Cette partie de l'étude est plus expérimentale. En effet, elle ne réfère pas à des opérations statistiques mais consiste cette fois en une approche comparative des formes topographiques et des organisations verticales déduites de l'analyse du milieu naturel. Le but étant de comprendre comment les agencements verticaux de la géosphère se succèdent et se répartissent spatialement en fonction des contraintes topographiques imposées par les toposéquences. Ces contraintes peuvent d'ailleurs être assimilées à des successions de facettes topographiques le long des transects définis.

Les comparaisons sont réalisées graphiquement à partir de l'étude très fine de plusieurs documents graphiques et cartographiques, toujours centrés sur les toposéquences : suivi des hoplexols, chemins de l'eau à la surface du sol, interprétations sur la perméabilité apparente, perceptions vernaculaires, inscription des géons dans les facettes topographiques. La figure 5.9 montre à ce sujet un exemple détaillé des documents utiles à la définition des segments de paysages le long d'un transect.

C'est à la fin de cette étape que les segments de paysages sont réellement définis en tant que tels puisqu'elle permet de déterminer, de comprendre et d'analyser à la fois les cadres topographiques et mésologiques qui entrent en jeu dans leur définition théorique. C'est d'ailleurs à ce niveau que les rapprochements avec les caractéristiques hydrodynamiques du milieu naturel sont définis. Sans trop entrer dans le détail (ce point étant traité dans la troisième partie de la thèse), chacun des géons définis statistiquement, et de fait chacun des segments de paysage fonctionnent comme autant de systèmes complexes et ouverts (Riou,

1989 ; Rougerie & Beroutchachvili, 1991) dans lequel transitent des flux hydriques et érosifs. La caractérisation individuelle de ces systèmes, du point de vue organisationnel et dynamique puis celle de leur succession spatiale, ainsi que le rapprochement avec les informations fournies par des spécialistes permet alors d'expliquer les cheminements des flux dans le paysage, de quantifier leur importance et de juger de leurs impacts (Richard, Filleron & Beroutchachvili, 1997).

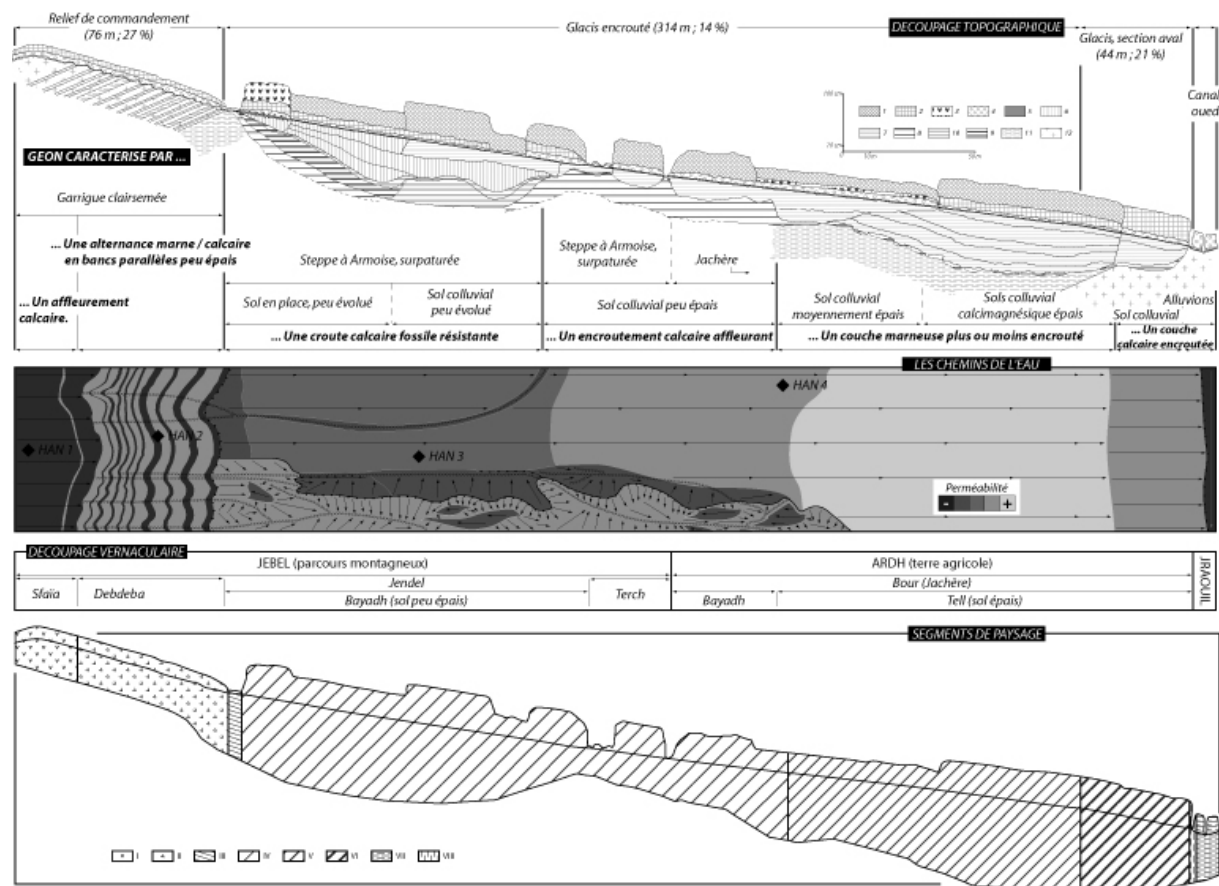


Figure 5.9 : Exemple de segmentation du paysage le long d'une toposéquence

Les segments qui figurent ici sont déduits à partir des observations directes des successions et des organisations qui surviennent dans le milieu naturel. (Source : Morschel & al., 2005).

Légendes : (GEONS) 1 – Nanophytion squamescent, 2 – Nanophytion aromescent, 3 – Gramen, 4 – Epilite, 5 – Dermilite, 6 – Brunichron, 7 – Entaféro-brunichron, 8 – Tafékérîte, 9 – Tassikérîte, 10 – Alté-tassikérîte, 11 – Alté-tanolite, 12 – Alté-régolite marneux. (Termes définis par : Richard, Khan & Chatelin, 1977 ; Richard, 1989 ; Da Lage et Métailié, 2000 ; Rambaud & Waechter, 2001). (SEGMENTS DE PAYSAGE) I – Acroèdre, II – Métaèdre acroédrique, III – Ecta-métaèdre, IV – Métaèdre supérieur, V – Métaèdre moyen, VI – Métaèdre inférieur, VII – Cataèdre, VIII – Ectaèdre. (Termes définis par Filleron, 1978 ; Filleron, 1995 ; Rambaud et Waechter, 2001 ; Richard, 2002).

Une fois les segments établis le long des toposéquences, l'étape ultime du traitement consiste à spatialiser les résultats. Cette spatialisation résulte de la confrontation entre les unités déduites le long des transects et les types de facettes topographiques établis au préalable et dont on connaît la répartition au sein des différents paysages. Là encore les liaisons sont directes : il s'agit d'un simple transfert d'un format dans un autre en fonction des localisations de chacun des ensembles décrit. Toutefois, même si aucun traitement numérique ne vient conforter le résultat final, cette opération est rendue possible pour deux raisons : les emplacements des relevés de milieu sur lesquels s'appuie toute l'analyse sont connus et

localisés précisément dans le paysage et il ne peut donc y avoir de contresens à ce niveau lors du transfert d'échelle. Aussi, au moment de leur différenciation les segments de paysage prennent en compte les unités topographiques dans lesquels ils s'inscrivent sur les toposéquences. C'est cette caractéristique qui les rapproche des facettes topographiques décrites et localisées spatialement et qui permet de les y inscrire pour établir le modèle final.

Procédant de cette manière, il est donc possible, à partir de simples observations du milieu naturel d'obtenir un modèle spatial explicatif des organisations verticales et latérales de la géosphère. Chaque étape de la chaîne des traitements élaborée en vue de cartographier les segments de paysage est reprise et expliquée plus en détail dans les paragraphes et les chapitres suivants : les traitements numériques et les analyses qu'ils permettent sont présentés dans le paragraphe V.2. Les segments de paysages sont quant à eux définis et analysés dans la troisième partie de la thèse.

V.2 - LA DEFINITION DES TYPES D'HOPLEXOLS (LES ENVELOPPES DE LA GEOSPHERE).

Abordons maintenant un des points essentiels de l'étude. Le paragraphe V.2 s'efforce en effet de montrer la première partie de la démarche utile à la synthèse paysagère : la définition des enveloppes de la géosphère ou en d'autres termes, des types d'hoplexols. Afin de bien comprendre le cheminement suivi, les *règles théoriques* utiles à l'analyse et notamment à la mise en forme des données sont présentées dans le premier point (V.2.1) puis les types d'hoplexols à proprement parlé sont analysés dans les points V.2.2 à V.2.6, dont chacun correspond à un hoplexion particulier.

V.2.1 - Démarche générale.

V.2.1.1 - Notes sur la mise en forme des données.

La première série de traitements vise à réduire le nombre d'observations réalisées. Il n'est en effet pas concevable de vouloir tout prendre en compte pour expliquer l'organisation verticale du milieu naturel. Les lourdeurs d'une telle démarche enlèverait tout esprit de synthèse et résumerait l'analyse paysagère à une vaste nomographie basée sur des observations ponctuelles et peu comparables les unes avec les autres. Il s'agit donc de rassembler les différents hoplexols établis lors des travaux de terrain en quelques types représentatifs à la fois des organisations tangibles et des dynamiques auxquelles les composantes relevées renvoient. Ce sont en effet plus de 127000 données élémentaires qu'il faut classer pour dégager les types d'organisation du milieu naturel.

Toutes les données ne sont pas traitées ensemble. Une différenciation directe est réalisée en fonction de l'hoplexion dans lequel elles s'inscrivent (figure 5.10). Et cela est facilement compréhensible du fait de la nature des matériaux rencontrés dans le profil vertical du milieu naturel : mis à part quelques accidents notoires, les composantes de la géosphère suivent des règles d'organisation précises et s'inscrivent dans un positionnement vertical qui conduit à leur différenciation. Il paraît difficile de trouver dans le même hoplexol à la fois un régolite et un paliphyse ! Ainsi, du fait des principes de l'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC), qui proposent de mesurer l'association entre deux variables qualitatives, il est possible d'affirmer qu'une analyse commune de toutes les données ne conduirait à rien, si ce n'est à pouvoir différencier les hoplexols en fonction des hoplexions dans lesquels ils s'inscrivent.

Ceci n'a évidemment pas de sens puisque cette information est notée directement sur le terrain, au moment de la collecte des données. De ce fait, il paraît plus intéressant de chercher à comprendre ce qui se passe directement à l'intérieur de chaque hoplexion plutôt que de chercher à (ré-)établir les hoplexions eux-mêmes !

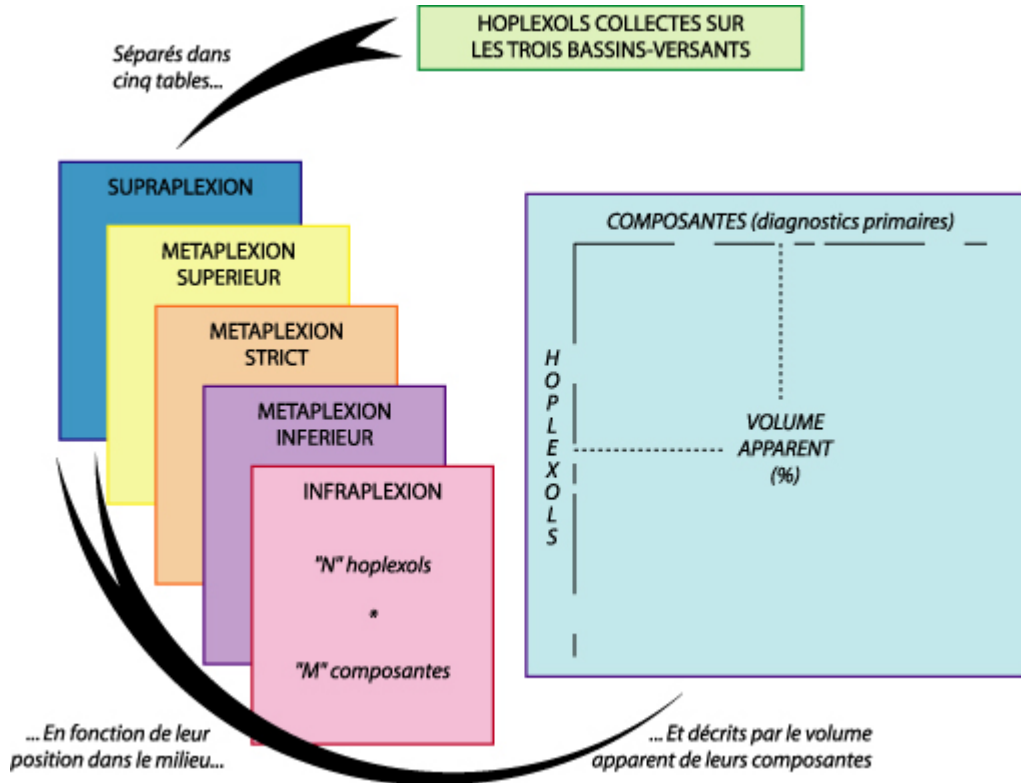


Figure 5.10 : Représentation schématique de la mise en forme des données utiles à l'établissement des tables de contingence sur lesquelles s'appuient les traitements numériques réalisés en vue de définir les types d'hoplexols des différents paysages pris en compte. (D'après Richard, 1989).

Les données collectées sont donc réparties, dès le départ, dans cinq tableaux de contingence bâtis sur le modèle de celui présenté en figure 5.10 : les lignes des tableaux correspondent au numéro des hoplexols (établis sur le principe donné dans le paragraphe V.1.2), les colonnes représentant les composantes du milieu naturel relevées dans chaque hoplexol (A ce titre, les variables utilisées sont celles présentées dans le premier paragraphe, dans les tableaux 5.1 à 5.14). Les cellules situées au croisement des lignes et des colonnes étant renseignées par les volumes apparents (%) de chaque composante dans l'hoplexol donné. Les composantes du milieu qui ne se retrouvent pas dans un hoplexol sont affectées par la valeur 0 % traduisant ainsi de leur absence. Notons toutefois que ces valeurs 0 % occupent la plupart du temps une grande place dans les tables de contingence et par là même dans les 127000 données élémentaires utiles aux traitements. Sans ces valeurs nulles, ce sont en fait environ 15000 matériaux *réels* qui ont été collectés dans les hoplexols différenciés sur le terrain !

Procédant de cette manière, chaque hoplexol est comparé à l'ensemble des hoplexols de *même position*, ou tout du moins appartenant au même ensemble, dans le milieu naturel, quel que soit le bassin versant sur lequel il se trouve à l'origine. Il est ainsi possible de distinguer les divergences ou encore les convergences qui peuvent exister au sein de ces trois espaces, mais aussi entre ces derniers, et par là même d'en extraire des types groupant des enceintes identiques ou très proches. Cette méthode permet ainsi le rapprochement et la comparaison des géons et des segments présents dans les trois bassins versants au travers *d'hoplexols statistiques* communs.

V.2.1.2 - Les règles générales suivies pour l'interprétation des types d'hoplexols.

Même si les méthodes de calcul sont différentes, les AFC s'interprètent globalement de la même manière que les ACP. Cela signifie qu'il faut, dans un premier temps, définir les axes factoriels pertinents pour l'analyse puis les interpréter en fonction des variables qui les définissent et des individus qui s'y inscrivent. Notons que dans ce cas, le grand nombre de variables, et la taille de chaque tableau de contingence, impose cette réduction informationnelle qui n'était pas forcément nécessaire dans le cas des traitements des facettes topographiques.

Il s'agit donc, dans un premier temps, de rechercher les axes factoriels les plus significatifs. Cette recherche s'appuie sur la règle empirique proposée par Cattell (1966) qui consiste à rechercher les changements de pente (représentés par des *coudes*) dans l'histogramme de décroissance des valeurs propres et qui correspond à l'inertie expliquée par chaque axe factoriel. En ne retenant que les axes situés au dessus de ce *coude*, on ne prend en compte que ceux qui proposent un pouvoir explicatif suffisant. Au-delà de ce changement, la part d'inertie expliquée par le facteur est souvent très faible, ce qui traduit nécessairement une faible part explicative de l'axe factoriel auquel elle renvoie. D'un tableau à l'autre, le nombre d'axes peut ainsi varier de manière significative, en fonction de la complexité de l'ensemble concerné. Ainsi, nous verrons dans les points suivants que dans le cas du supraplexion, très peu d'axes permettent de comprendre et d'expliquer les différentes organisations dans le milieu naturel alors que dans les autres hoplexions, cette analyse est souvent plus complexe et demande de répéter la démarche plusieurs fois avant d'arriver à la définition des types d'hoplexols.

Une fois, les axes factoriels choisis, il reste encore à les définir et à saisir les individus qui s'y inscrivent. C'est au cours de cette étape que les types d'hoplexols sont définis en fonction des groupes d'individus formés lors de leur projection sur les axes factoriels. Le principe de l'identification des axes factoriels est relativement simple : il s'agit de rechercher les variables et/ou des individus qui affichent les plus fortes *contributions absolues*, c'est-à-dire celles qui participent le plus activement dans la construction de l'axe et qui permettent de donner sa signification. Il est aussi possible, dans un second temps, de s'intéresser aux *contributions relatives*, ou cosinus carrés, des variables et/ou des individus qui expriment la part prise par un axe factoriel dans la dispersion de cette variable et par là même de juger de la proximité entre les différents éléments qui s'inscrivent sur cet axe. Deux cas se présentent d'ailleurs fréquemment.

Soit **une seule variable caractérise à elle seule un axe factoriel** (figure 5.11): dans ce cas sa contribution absolue et sa contribution relative, cosinus carré, sont très fortes comparées aux autres variables. Ce phénomène est assez fréquent, il montre souvent un petit groupe d'hoplexols très particulier qui se distingue très nettement des autres par sa composition et renvoie à une dynamique et/ou à une localisation très particulière dans le milieu naturel. La part d'inertie prise par ces variables est d'ailleurs souvent très importante si bien qu'elles ressortent souvent dès le premier axe factoriel.

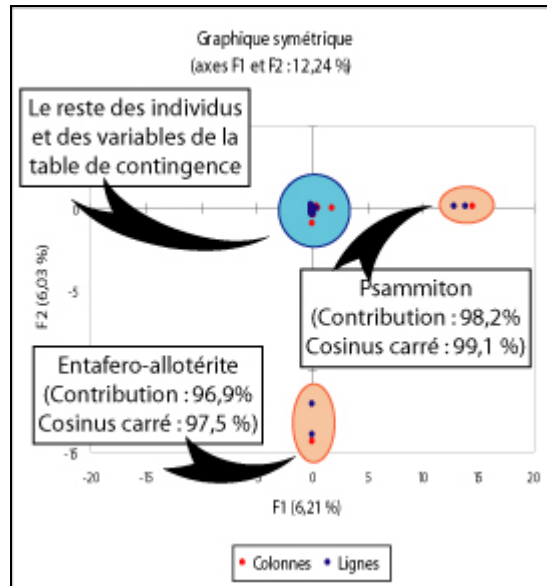


Figure 5.11 : Exemple d'AFC où les axes F1 et F2 sont caractérisés par une seule variable.
(Points rouges : variables ; points bleus : individus).

Ainsi dans l'exemple de la figure 5.11, le premier axe factoriel est représenté par la seule variable *psammiton* qui contribue à hauteur de 98,2 % dans la construction de cet axe. De même F2 est uniquement caractérisée par la variable *entafero-allotérite* qui contribue à hauteur de 96,9 % dans la construction de cet axe. Les groupes formés autour de ces variables sont d'ailleurs de très petites tailles puisque seulement deux hoplexols entrent dans leur composition respective. Le problème qui se pose est que le reste des variables et des individus apparaît centré autour du point d'origine de ces deux premiers axes factoriels, ce qui traduit d'une indépendance des variables et des individus vis-à-vis de ces deux axes. Il est donc souvent nécessaire, une fois que tous les particularismes de ce type sont décrits de retirer les variables et les individus qui leur correspondent dans la table de contingence et de relancer le traitement pour analyser les éléments qui restent. Il faut alors reprendre toute l'analyse depuis le départ afin de redéfinir les nouveaux axes factoriels. Ceci est d'ailleurs rendu possible par le fait qu'en analyse factorielle, lorsqu'une variable est très fortement corrélée à un axe, cette dernière ne peut que caractériser celui-ci ; il en est d'ailleurs de même pour les individus. Ainsi, le retrait d'une ou plusieurs variables explicatives ayant servi à déterminer un ou plusieurs axes factoriels (et des individus qui leur sont associés) n'est en rien préjudiciable lors de l'analyse suivante (Lebart, Morineau & Piron, 2004).

Le second cas qui se présente apparaît lorsque **plusieurs variables caractérisent un même axe factoriel**. C'est d'ailleurs le cas d'école le plus fréquemment rencontré dans la littérature pour expliquer les AFC et montrer les conclusions qu'elles permettent de réaliser. Dans ce cas les contributions absolues de ces variables sont complémentaires (leur somme tend vers 1) et leurs contributions relatives sont toujours fortes. Deux exemples sont présentés en figure 5.12. Dans ce cas, le nuage de points peut d'ailleurs prendre plusieurs formes, parfois montrant des groupes parfaitement individualisés les uns des autres (figure 5.12, gauche) et parfois des points éparpillés (figure 5.12, droite) qui n'offrent qu'une vision médiocre des ensembles qu'ils décrivent. Notons que lorsque plusieurs nuages de points s'individualisent parfaitement mais que chaque sous-ensemble regroupe un nombre très important de variables et d'individus, comme c'est le cas dans l'exemple présenté en figure 5.12 (gauche), il peut s'avérer intéressant de chercher à différencier des organisations plus particulières à l'intérieur de chaque groupe afin de préciser l'analyse. Dans ce cas, il est nécessaire d'appliquer une AFC

en scindant le tableau de contingence en autant de parties qu'il y a de groupes différents (Lebart, Morineau & Piron, 2004). En revanche, lorsque le nuage de points ressemble à celui du graphique situé à droite sur la figure 5.12, le recours à une classification numérique peut être utile pour grouper les individus en types similaires. Lorsque cela est nécessaire, c'est une CAH qui est appliquée directement (c'est-à-dire sans passer par la comparaison de différentes classifications) car elle permet de déterminer, en lecture du dendrogramme, le nombre de classes (et donc de groupes) à établir. Toutefois, si sur ce même graphique il est possible de constater que 4 ensembles apparaissent clairement suite à la CAH, un certain nombre d'individus et de variables se retrouvent tout de même sans appartenance particulière : sont dans ce cas tous les points centrés autour du point d'origine des axes. Il s'avère alors nécessaire, encore une fois, d'avoir recours à une redéfinition de la table de contingence et donc à une nouvelle AFC pour les caractériser. Et ainsi, de proche en proche jusqu'à ce que l'on obtienne des groupes pertinents, homogènes et représentatifs de ce qui existe dans le milieu naturel.

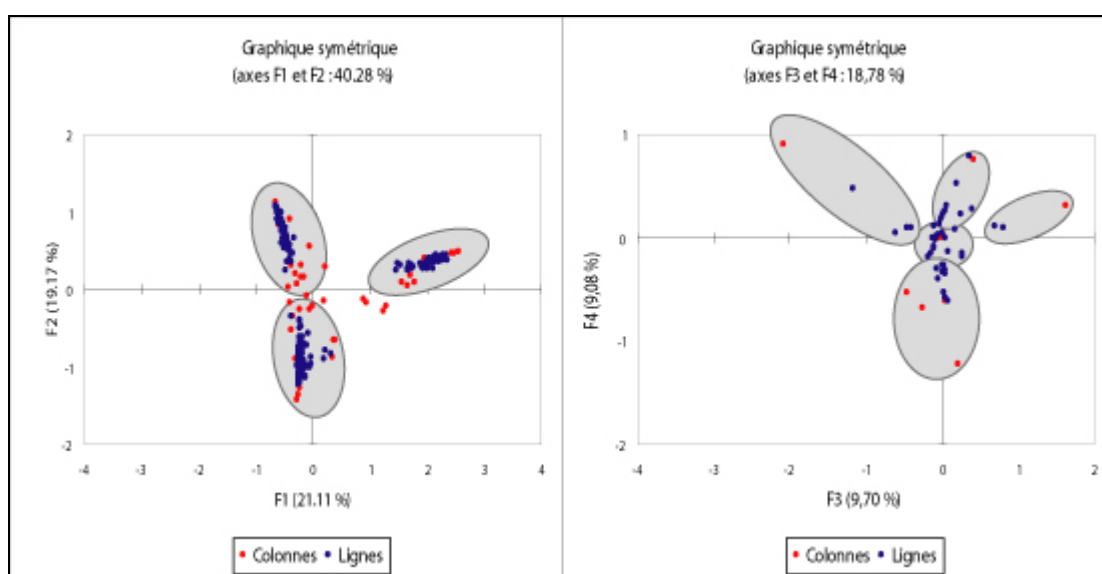


Figure 5.12 : Exemple d'AFC où les axes F1 et F2 sont caractérisés par plusieurs variables.
(Points rouges : variables ; points bleus : individus).

Les traitements numériques appliqués ici sont une fois encore un support, une aide à la lecture des données. En effet, la taille imposante des tables de contingence interdit toute interprétation directe. De ce fait, la progression se fait nécessairement par tâtonnements successifs jusqu'à l'obtention de partitions satisfaisantes et représentatives des organisations et des dynamiques du milieu naturel. Il n'existe donc pas de méthode prédéterminée, clairement définie et applicable dans tous les cas. La démarche typologique passe de ce fait par plusieurs étapes similaires d'un point de vue strictement technique mais qui imposent des remaniements différents des données en fonction des différents groupes qui apparaissent au fil de l'étude. La suite de ce paragraphe présente les différentes analyses réalisées en vue d'établir la typologie des hoplexols pour les trois paysages retenus dans le cadre de cette thèse. Ils associent à la fois les interprétations statistiques des résultats des multiples l'AFC effectuées et interprétations organisationnelles et dynamiques des différents groupes mis en évidence par cette procédure.

V.2.2 - Les types d'hoplexols dans le supraplexion.

Le fait d'aborder la typologie par l'analyse détaillée du supraplexion permet de clarifier les brèves explications de la démarche présentées dans le paragraphe précédent. En effet, l'ensemble d'hoplexols qui le constitue est relativement simple à comprendre du fait que peu d'entre eux sont concernés : le supraplexion n'est en effet présent que pour quelques relevés d'Abdeladim ainsi que pour un seul relevé d'El Hnach, ce qui entraîne nécessairement une table de contingence de taille réduite tant au niveau des individus à classer qu'au niveau des variables utiles à leur typologie. Le tableau établi repose sur 49 hoplexols décrits par 13 composantes du milieu naturel, ce qui est très peu comparé aux autres. Toutefois, le fait de commencer par cet ensemble n'est absolument pas lié à sa simplicité, mais à sa position dans le milieu naturel : il représente les premiers hoplexols situés sur le passage des chemins de l'eau ! La coïncidence est donc tout à fait fortuite, mais elle s'avère très intéressante pour préciser ce qui doit l'être vis-à-vis de la méthode décrite précédemment.

V.2.2.1 - Les traitements numériques du supraplexion (S).

En première analyse, il s'avère que deux groupes se distinguent très nettement : les deux hoplexols d'El Hnach d'un côté et les 47 hoplexols d'Abdeladim de l'autre. Cette différenciation est très évidente et ne nécessite, à la limite, pas de traitement particulier pour distinguer les deux groupes. Tout d'abord car les composantes du milieu naturel de ces deux paysages divergent au niveau des diagnostics primaires (tableaux 5.1 et 5.10). Ensuite, ces composantes mélangent, pour El Hnach, des éléments appartenant au supraplexion (paliphyse et dendrigé) ainsi que des éléments du métaplexion supérieur (nanophyse, nanophyto-kortode, cauligé). Aussi, devant de telles évidences, il apparaît clairement qu'au moins deux types de supraplexion existent en fonction du paysage dans lequel ils s'inscrivent. Toutefois, si les hoplexols d'El Hnach forment à eux seuls un type unique (qui est noté *S7* dans la typologie), ceux d'Abdeladim présentent des différences notoires qu'il convient de préciser pour distinguer les dynamiques paysagères qui s'y inscrivent. De ce fait, El Hnach est immédiatement retiré de l'analyse et les traitements numériques portent uniquement sur les 10 diagnostics primaires et les 47 hoplexols relevés sur Abdeladim.

La recherche des types d'hoplexols pour le bassin versant d'Abdeladim nécessite de s'intéresser aux 4 premiers axes factoriels. Le test de Cattell (figure 5.13) montre en effet une rupture dans la part d'inertie expliquée par les axes entre F2 et F3. Toutefois, pour être sûr de ne rien oublier lors de l'analyse, il s'avère intéressant de tenir également compte du quatrième axe. Procédant de cette manière, plus de 85 % de la variance est expliquée.

Les traitements numériques réalisés sur ces 4 axes factoriels mettent en avant 6 groupes d'hoplexols, relativement simples dans leur composition. Ainsi, l'axe F1 est représenté à lui seul (contribution = 96,3 % ; cosinus carré = 99,9 %) par les formes de régénération de la végétation ligneuse. L'axe F2 met en avant les quatre stades de croissance de cette végétation. Ces différentes étapes se succèdent d'ailleurs sur l'axe dans un ordre logique décrit par les différents niveaux de réitération auxquels ils renvoient. Ainsi, sur le graphique présenté en figure 5.14 (A), apparaissent successivement (du bas vers le haut), les prophyses, les paliprophytes, les pro-paliprophytes et enfin les paliprophytes, autant d'ensembles explicatifs des dynamiques végétales sur le long terme. Notons aussi que cette configuration permet de rapprocher d'une part les stylagés des formes végétales pas ou peu réitérées (dans la partie basse du graphique) et d'autre part les dendrigés des formations fortement réitérées (et situés dans la partie supérieure du graphique...). La répartition des variables sur F2 traduit également des positions différentes des composantes de la géosphère sur le profil vertical. Ainsi, les

hoplexols *les plus hauts* correspondent aux arbres les plus anciens, fortement ramifiés et dont les frondaisons sont supportées par de grosses branches. En revanche, les autres hoplexols étant composés en grande majorité par des arbres adultes mais encore jeunes et parcourus par des linéaires verticaux correspondant aux troncs. Toutefois, individualiser les groupes d'hoplexols majeurs en ne se référant qu'aux deux premiers axes factoriels n'est pas envisageable. En effet, si des éléments clés de l'analyse apparaissent, les groupes en question ne se dégagent pas réellement. Il faut donc s'intéresser à la figure 5.14 (B) pour rapprocher les hoplexols constitutifs des ensembles à établir.

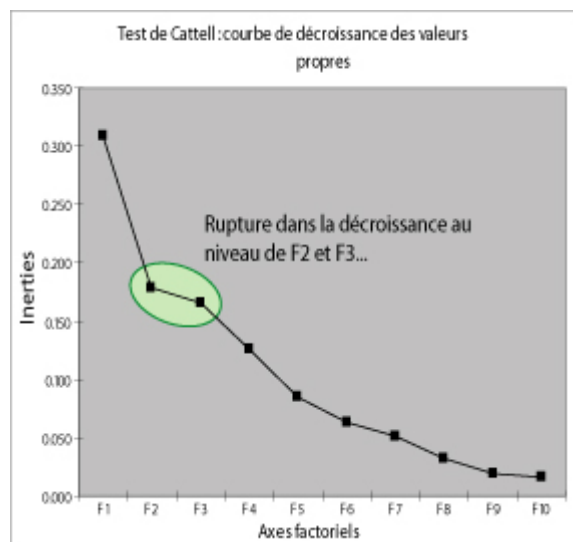


Figure 5.13 : Test de Cattell, décroissance des valeurs propres des axes factoriels (supraplexion). La rupture intervient entre F2 et F3... mais il convient de prendre également en compte F4 pour plus de sûreté quant aux résultats des traitements.

Les différents groupes qui apparaissent très clairement sur ce graphique correspondent à autant de type à retenir pour l'analyse du supraplexion : sur F3 s'opposent les deux premiers stades de la croissance de la végétation ligneuse avec, à droite les coniprophyses (contribution = 44,5 % ; cosinus carré = 36,9 %) et à gauche, les conipaliprophyses (contribution = 42,9 % ; cosinus carré = 45,4 %). De même sur F4 s'opposent les conipropaliprophyses (contribution = 45,5 % ; cosinus carré = 54,0 %) - en bas - et les conipaliprophyses (contribution = 31,3 % ; cosinus carré = 28,5 %) - en haut -.

Cet exemple permet d'ailleurs de préciser un des points (purement statistique) soulevé précédemment (paragraphe V.2.1.2) : les contributions absolues des différentes variables dans la construction de chaque axe sont complémentaires. Ainsi F3 et F4 sont expliqués à 87,4 % et 76,8 % respectivement par les deux variables qui leur sont rattachées. Les contributions relatives (cosinus carrés) en revanche affichent des valeurs plus faibles qui témoignent du fait que ces variables ne sont pas uniquement à rapprocher de ces deux axes, mais aussi de l'axe F2 dans lequel elles sont également partie prenante. À l'inverse, la variable conipénéprophyse ne peut prendre part que dans l'analyse de l'axe F1 du fait de sa très forte corrélation avec celui-ci.

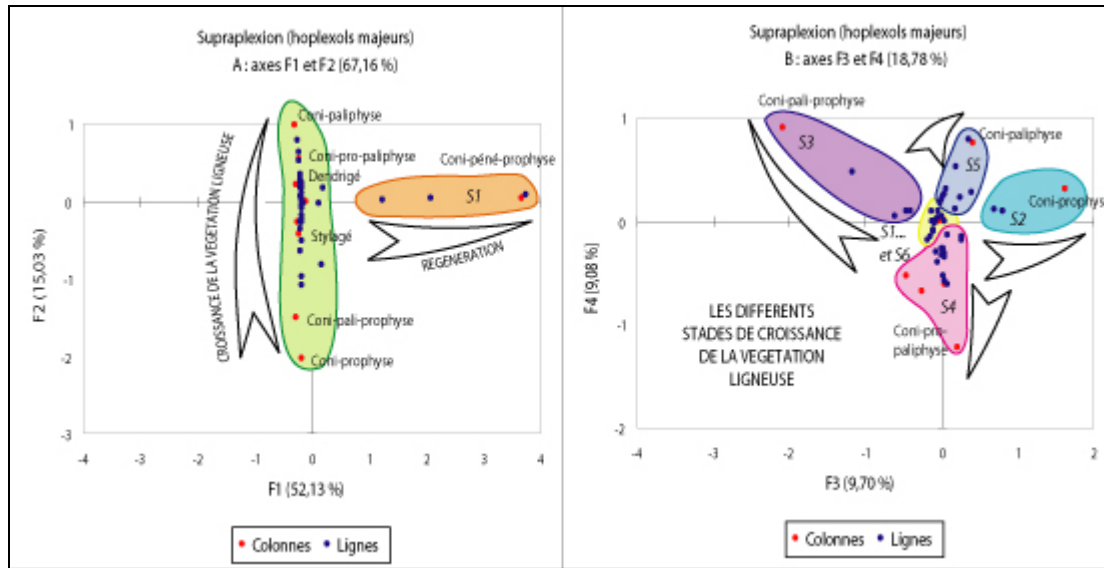


Figure 5.14 : Les types d'hoplexols (hoplexols majeurs) du supraplexion.

Enfin un dernier élément reste à signaler avant de passer à la typologie à proprement parler. Un petit nombre d'hoplexols se concentre autour de l'origine du graphique B de la figure 5.14. Ceux-ci représentent à la fois le groupe *S1* dont l'impossibilité de s'inscrire sur un autre axe factoriel, a déjà été signalée, ainsi qu'un dernier groupe, noté *S6* qui correspond à des hoplexols de nature composite mais comportant toujours plus de 90 % d'aérophyse. Cette très forte proportion d'air relève soit de positions intermédiaires sur le profil vertical (juste à la base du dendrigé par exemple) soit de positions très particulières sur l'axe latéral et qui entraînent des différences spatiales notoires vis-à-vis des dynamiques du milieu naturel et de la circulation des flux d'eau.

V.2.2.2 - Les groupes d'hoplexols du supraplexion.

Les traitements statistiques permettent de dégager très rapidement sept groupes d'hoplexols dans le supraplexion. Ces groupes se distinguent dès le quatrième axe factoriel, en fonction de leur composition intrinsèque. De ce fait les ensembles définis numériquement renvoient à autant de types d'organisation différents qu'il convient maintenant de détailler précisément. Cette différenciation se fait par l'intermédiaire du tableau 5.15 qui permet de les comparer en fonction de leur composition et des interprétations qu'il est d'ores et déjà possible de réaliser sur chacun d'eux.

Les ensembles mis en avant par les traitements statistiques renvoient déjà à une explication sur le milieu naturel puisqu'ils permettent de comprendre les formes en présence ainsi que les dynamiques évolutives auxquelles elles renvoient. Les interprétations sont cependant encore limitées car elles ne tiennent pas compte des répartitions spatiales des groupes établis. Malgré ce manque (qui sera comblé par la suite) il est tout de même possible de comprendre, à la lecture du tableau 5.15, ce que les différentes organisations présentes dans le supraplexion induisent du point de vue de la dynamique du milieu naturel. Deux éléments de compréhension de l'organisation et des dynamiques évolutives du milieu sont d'ailleurs rendus possibles du fait des résultats des traitements : l'analyse de la forêt d'Abdeladim et les boisements anthropiques d'El Hnach.

Tableau 5.15 : Les groupes d'hoplexols du supraplexion.

TYPES	Groupes	hoplexol (nombre)	Composition moyenne des hoplexols	Interprétation...
SI	<i>s1</i>	3	(Aérophyse, 55%) CONI-PENEPROPHYSE (45%)	<i>Les plus jeunes arbres rencontrés indiquant une régénération très localisée de la forêt</i>
	<i>s2</i>	2	(Aérophyse, 79%) CONI-PROPHYSE (15%) , CONI-PENEPROPHYSE (3%), STYLAGE (3%)	<i>Les jeunes arbres aux frondaisons peu développées (faible extension verticale et latérale)</i>
SII	<i>s3</i>	4	(Aérophyse, 89%) CONI-PALI-PROPHYSE (8%) , STYLAGE (2%), DENDRIGE (1%)	<i>Les arbres en cours de croissance (I), marqués par un développement vertical important mais encore une faible extension latérale</i>
	<i>s4</i>	12	(Aérophyse, 82%) CONI-PRO-PALIPHYSE (8%) , CONI-PALIPHYSE (4%), STYLAGE (3%), DENDRIGE (1%), CONI-PENEPROPHYSE (1%)	<i>Les arbres en cours de croissance (II) marqués par un important développement vertical et latéral</i>
	<i>s5</i>	10	(Aérophyse, 87%) CONI-PALIPHYSE (13%)	<i>Les arbres adultes ayant achevé leur modèle de croissance, marqués par un développement vertical restreint mais par une importante occupation latérale de l'espace</i>
SIII	<i>s6</i>	16	(Coni-paliphyse, 3% ; coniprophyse, 2% ; stylagé, 2% ; dendrigé, 1% ; conipro-paliphyse, 1% ; conipali-prophyse, 1%) AEROPHYSE (91%)	<i>Les hoplexols intermédiaires entre les frondaisons et le métaplexion... marqués par des formes d'extension verticales (les troncs) et latérales (les grosses branches lorsqu'elles existent)</i>
SIV	<i>s7</i>	2	(Aérophyse, 81%) PALIPHYSE (12%) , NANOPHYSE (4%), DENDRIGE (2%), NANOPHYTO-KORTODE (1%), CAULIGE (1%)	<i>Les hoplexols d'El Hnach... mélangeant des composantes du métaplexion supérieur à celles du supraplexion</i>

V.2.2.2.a - La forêt déclinante d'Abdeladim.

La majorité des composantes naturelles du supraplexion prennent place sur le bassin versant d'Abdeladim. Ce paysage rassemble ainsi les 6 premiers groupes établis (tableau 5.15). D'après ce qui est directement perceptible dans le supraplexion, deux remarques peuvent être formulées : l'ensemble des stades de croissance des arbres adultes et sub-adultes sont présents, depuis le prophyse jusqu'au paliphyse (groupes *s2* à *s5*). Cela signifie que cette forêt *fonctionne* bien de ce point de vue lorsque les plus vieux arbres commenceront à dégénérer, ils pourront être remplacés par les arbres plus jeunes qui n'ont pas encore atteint le stade final de leur modèle de croissance. Toutefois, l'ensemble de l'espace n'est pas concerné par ce phénomène : seulement six hoplexols, sur l'ensemble des relevés de milieu, sont composés par des arbres jeunes ou très jeunes (pali-prophyse et prophyse) alors que 12 rassemblent des arbres en voie d'achèvement de leur croissance (pro-paliphyse) et 10 présentent des arbres adultes (paliphyse) qui ne pourront plus évoluer que vers un stade nécrophytique. Ce

phénomène connote un problème grave : lorsque les plus vieux arbres dépériront, ils ne seront pas toujours remplacés, ce qui risque à terme de conduire à la disparition de ce boisement. Ce fait est de plus confirmé par l'analyse des groupes *s1* et *s6* : le péné-prophyse (*s1*), représentant les arbrisseaux de grande taille (et donc les futurs arbres) sont présents dans seulement trois hoplexols et occupent, de ce fait, une place très restreinte dans l'ensemble du milieu. Ces arbrisseaux sont d'ailleurs très localisés et leur présence est uniquement liée à l'action anthropique (reboisement). En outre, le sixième groupe, qui représente les troncs (et les grosses branches) des arbres adultes devrait, si tout était conforme aux règles de renouvellement des couvertures forestières, montrer également des formes de régénération. Or les troncs occupent seuls l'espace, laissant entre les arbres de grandes places vides de toute occupation : le sous-bois n'existe pas. La forte part d'aérophysse de ce groupe ainsi que l'absence de pénéphytion ou de péné-prophyse conforte d'ailleurs ce propos et traduit l'absence d'un sous-bois nécessaire au maintien de cette forêt sur le long terme. Cela conduit à dire que cette forêt est vouée à une disparition si l'homme n'intervient pas pour favoriser son maintien.

V.2.2.2.b - Les boisements anthropiques d'El Hnach.

Quelques bosquets se retrouvent sur El Hnach. Très limités spatialement, ils sont uniquement dus à l'action de l'homme. Les arbustes repérés sont mis en place pour une double utilisation. Ils permettent, en premier lieu, de maintenir une végétation couvrante qui stabilise les ravines et les lits mineurs des oueds. C'est d'ailleurs dans ce but qu'ils sont mis en place pas la Direction de la Conservation des Eaux et des Sols tunisienne : limiter l'érosion des sols et favoriser le maintien des sédiments sur place et empêcher leur transport jusqu'aux grands barrages. Leur second rôle est de fournir une source d'alimentation pour le bétail en cas de sécheresse. Les feuillages des essences végétales plantées peuvent en effet être coupées à ras sans pour autant entraîner la disparition de l'arbre. Hormis ces deux remarques, peu de choses sont à signaler à leur sujet. L'évolution de cet ensemble est très aléatoire. En outre, le nombre de fois où ce type de végétation est rencontré est trop limité pour pouvoir en tirer des conclusions relatives à sa dynamique évolutive.

V.2.2.3 - Les types d'hoplexols du supraplexion.

Chacun des ensembles définis pour le supraplexion présente des caractéristiques dont il est important de tenir compte pour expliquer l'organisation et la dynamique du milieu naturel. Toutefois, ils ne représentent pas encore des types d'hoplexols à proprement parler. En effet, le niveau de détail qui les caractérise rend encore difficile la synthèse paysagère et l'interprétation des dynamiques hydriques du milieu naturel notamment en ce qui concerne le cycle de l'eau dans le milieu. De toutes manières, que l'on soit en présence d'un prophyse ou d'un paliphyse, le comportement hydrodynamique ne change guère malgré les différences qui existent entre ces deux composantes du milieu naturel. Il convient donc de rassembler, dans la mesure du possible, ces groupes afin d'en déduire des types *identiques* ou tout du moins qui affichent une morphologie similaire et des dynamiques évolutives qui s'inscrivent dans une même tendance. Ce sont en effet ces formes et ces dynamiques globales qui conditionnent les flux hydriques et qui nécessitent d'être étudiées de ce point de vue. Les types établis par rapprochement des groupes définis précédemment sont présentés dans le tableau 5.16.

Tableau 5.16 : Les types d'hoplexols du supraplexion, morphologie et interprétations

Groupe	Les formes rencontrées dans le milieu	Interprétation dynamique	Bilan de l'eau et de la matière
SI	<i>Les plus jeunes arbres rencontrés</i> Forme en fuseau : forte extension verticale et faible extension latérale.	<i>Régénération de la forêt (forcée par l'homme)</i>	Interception de la pluie et évaporation directe Très localisée du fait de la faible occupation de l'espace. Evapotranspiration.
SII	<i>Les arbres adultes et sub-adultes</i> Formes diverses selon le niveau de réitération atteint mais toujours marqués par une distinction nette entre les troncs et les frondaisons.	<i>Stades de croissance de la forêt naturelle</i>	Interception de la pluie et évaporation directe Généralisée à l'ensemble du milieu du fait de la forte occupation de l'espace. Evapotranspiration.
SIII	<i>Les troncs et les grosses branches des arbres adultes et sub-adultes</i> Fort développement vertical mais faibles extensions latérales laissant une grande place à l'air libre entre les différentes structures.	<i>Maintient des frondaisons et conduction de la sève</i>	Redistribution de la pluie.. Par ruissellement le long et des troncs et des branches, ou eau égouttée sous les frondaisons. Remontée verticale de l'eau.
SIV	<i>Groupement indifférencié de feuillages, de troncs, de tiges et de végétation herbacée</i> Développement vertical et extension latérale faible mais densité forte des matériaux.	-	Interception de la pluie, évaporation directe, redistribution, remontée verticale et évapotranspiration

Ce sont ainsi quatre types d'hoplexols apparaissant très distinctement sur le plan morphodynamique qui prennent place dans la typologie des géons et qui s'inscrivent dans les segments de paysages. Ces types d'hoplexols permettent d'ores et déjà de réaliser, en fonction des formes qui les caractérisent, une première interprétation sur l'hydrodynamique du milieu naturel. Toutefois, si ces interprétations sont encore à un stade embryonnaire, ce sont elles qui, arrivées au terme de l'analyse, rendent possible l'explication des cheminements de l'eau dans le milieu naturel. Cela sera abordé plus avant dans la thèse, lorsque tous les types d'hoplexols et tous les types de relevés seront établis.

V.2.3 - Les types d'hoplexols dans le métaplexion supérieur.

L'analyse du métaplexion supérieur est plus complexe que celle de l'hoplexion précédent. Elle repose sur une table de contingence regroupant 360 hoplexols (individus), définis par 24 diagnostics primaires (variables). Les trois bassins versants sont représentés dans cette table et prennent par conséquent part dans l'analyse. Ici aussi, l'analyse se fait en deux temps : une première étape d'interprétation des résultats de l'AFC puis une étape de différenciation et d'explication des différents groupes et types d'hoplexols.

V.2.3.1 - Les traitements numériques du métaplexion supérieur (U).

Outre le fait que la table de contingence utile à l'analyse du métaplexion supérieur soit d'une taille plus conséquente que celle du supraplexion, la recherche de types d'hoplexols dans cet

ensemble doit faire face une difficulté majeure : les composantes du métaplexion supérieur changent rapidement dans le temps et dans l'espace.

Les changements spatiaux (verticaux et latéraux) sont tout d'abord marqués par des différences entre les trois paysages considérés. Chaque espace présente en effet des spécificités qui lui sont propres et que l'on ne retrouvera jamais ailleurs. Certaines formations végétales et les types d'hoplexols qu'elles permettent de caractériser peuvent à ce titre être considérées comme *endémique* à chaque espace (du moins dans la mesure où seulement trois paysages très différents sont pris en compte dans l'analyse) et méritent par là même d'être répertoriées en tant qu'élément unique dans la typologie. Toutefois le critère *paysage*, même s'il laisse apparaître des différences intéressantes, n'est pas pour autant un facteur déterminant dans la différenciation des types d'hoplexols : nombre d'organisations du métaplexion supérieur sont identiques d'un paysage à l'autre et méritent donc d'être réunies dans un même groupe malgré la distance qui les sépare. Un champ de céréales sera toujours un champ de céréales quelque soit l'endroit où il est observé et même si des différences notoires sont à signaler notamment en ce qui concerne la densité du semis car la structure d'ensemble sera identique. Elle connaîtra d'ailleurs la même dynamique de croissance et entraînera les mêmes comportements en matière d'hydrodynamique du milieu naturel. L'exemple choisi est bien évidemment trivial mais il illustre relativement bien ce phénomène. Le principal problème spatial qui se pose ne réside cependant pas dans les différences ou les similitudes qui marquent chaque espace. Il apparaît dès lors que l'on cherche à identifier précisément les variations latérales internes à chacun des paysages. Le passage d'un géon à l'autre, et parfois même les changements qui surviennent à l'intérieur d'un même géon, sont autant de facteurs de diversité paysagère du métaplexion supérieur dont il est important de tenir compte dans la typologie des hoplexols. Et c'est à ce niveau qu'apparaît toute la difficulté : réussir à classer ces éléments a priori différents tout en conservant un nombre de groupes limité et cohérent.

La seconde difficulté concerne la variabilité temporelle du métaplexion supérieur. Cet ensemble regroupe en effet nombre d'espèces végétales non pérennes, certaines pouvant avoir des cycles très courts. Le problème qui survient, et qui est très limitant au niveau de l'analyse, est que les mesures réalisées concernent toujours un état du géon au temps T et ne permettent pas de connaître son devenir aux temps T+1, T+2... T+n. Or, toutes les mesures des états des géons n'ont pas été réalisées à la même époque. Rappelons à ce sujet que la campagne de collecte des données a débutée à l'automne 2002 pour s'achever au printemps 2004. Ceci conduit donc à comparer des observations pour lesquelles les *états des composantes* sont différentes, sans pour autant que les composantes et les organisations auxquelles elles renvoient le soient nécessairement.

C'est donc en tenant compte de ces quelques remarques que la typologie des hoplexols du métaplexion supérieur est réalisée. L'analyse des résultats statistiques nécessite plusieurs étapes avant de pouvoir déterminer correctement les groupes d'hoplexols : en effet, certains apparaissent directement, en premier niveau d'analyse tandis que d'autres renvoient à l'obligation de reformuler la table de contingence en retirant les hoplexols et les variables qui interviennent dans la formation des groupes définis au niveau précédent. Un exemple est donné en figure 5.15.

V.2.3.1.a - Première étape : la table de contingence dans son intégralité.

Ainsi, l'analyse des quatre premiers axes factoriels permet de faire ressortir les ensembles des formations anthropiques répertoriées en opposition avec les *formations naturelles*. Les axes F1 et F2 correspondent respectivement au caryo-gramen anthropique (contribution = 93,6 % ;

cosinus carré = 95,7 %) et au gramen anthropique (contribution = 86,7 % ; cosinus carré = 93,0 %).

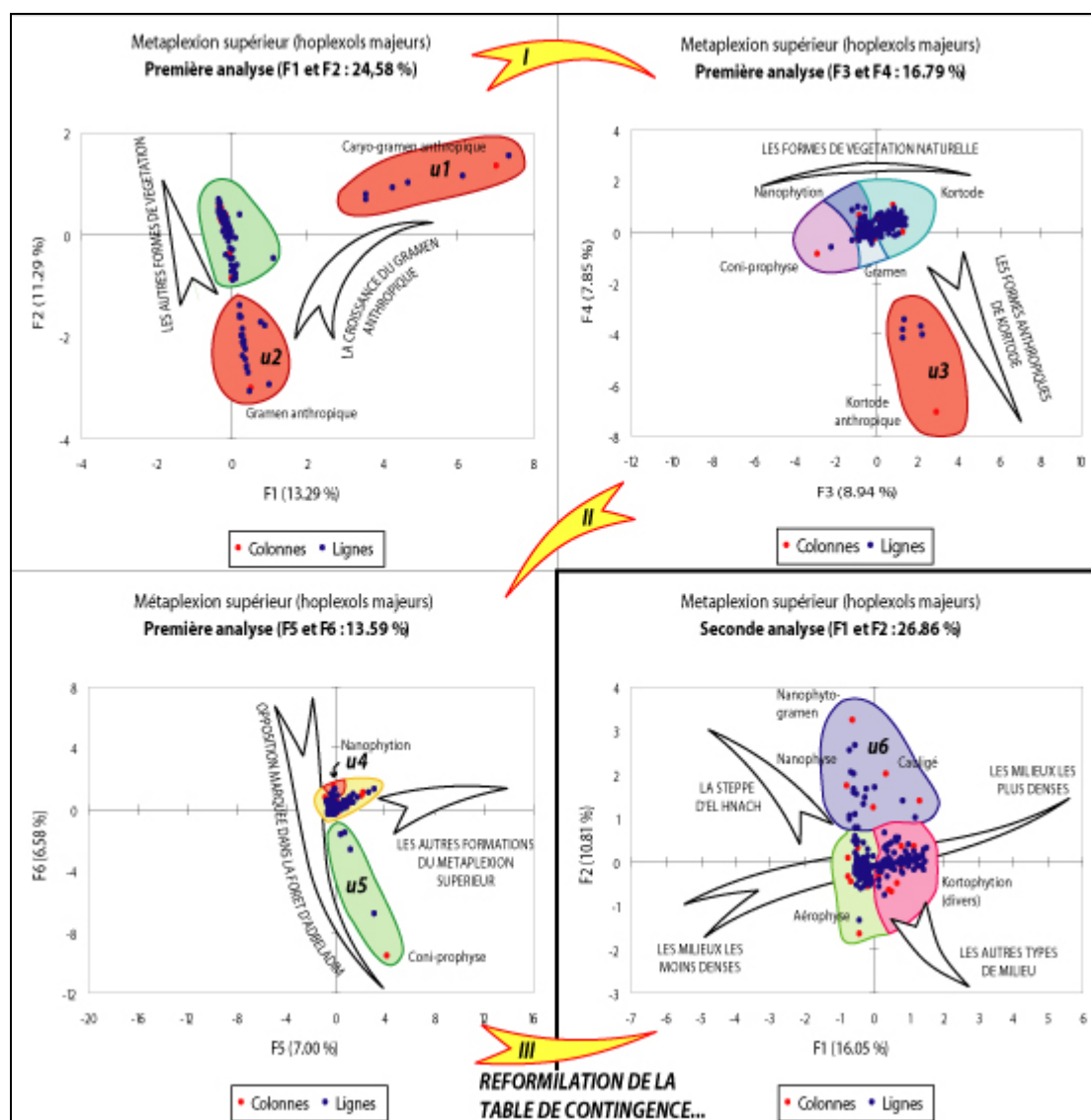


Figure 5.15 : Les hoplexols majeurs du métaplexion supérieur (U)... Les premières déductions !

Une trentaine d'hoplexols prennent place dans ces deux ensembles et définissent ainsi les deux premiers groupes *u1* et *u2* (figure 5.15, graphique de gauche). Notons à ce sujet que les groupes d'hoplexols sont disproportionnés : *u1*, correspondant au caryo-gramen compte uniquement 6 hoplexols alors que *u2* en affiche une quarantaine. Cette différence a une double explication : tout d'abord car le caryo-gramen ne correspond généralement qu'à un seul hoplexol dans les relevés où il apparaît alors que le gramen lui-même en compte deux ou trois. En effet, selon la position verticale, des nuances peuvent apparaître, notamment en terme de densité et de variété des composantes du milieu naturel, et permettent de ce fait de distinguer plusieurs hoplexols. La principale cause de ce déséquilibre s'explique cependant du fait de stades de croissance différents des céréales selon le mois au cours duquel le relevé a été réalisé : les cultures relevées en début de campagne de terrain printanière n'affichent pas encore les inflorescences tandis que celle répertoriées en fin de campagne printanière les ont déjà développées. De ce fait, les hoplexols à caryo-gramen anthropique sont purement et simplement absents de certains relevés du simple fait qu'ils n'existaient pas encore au moment

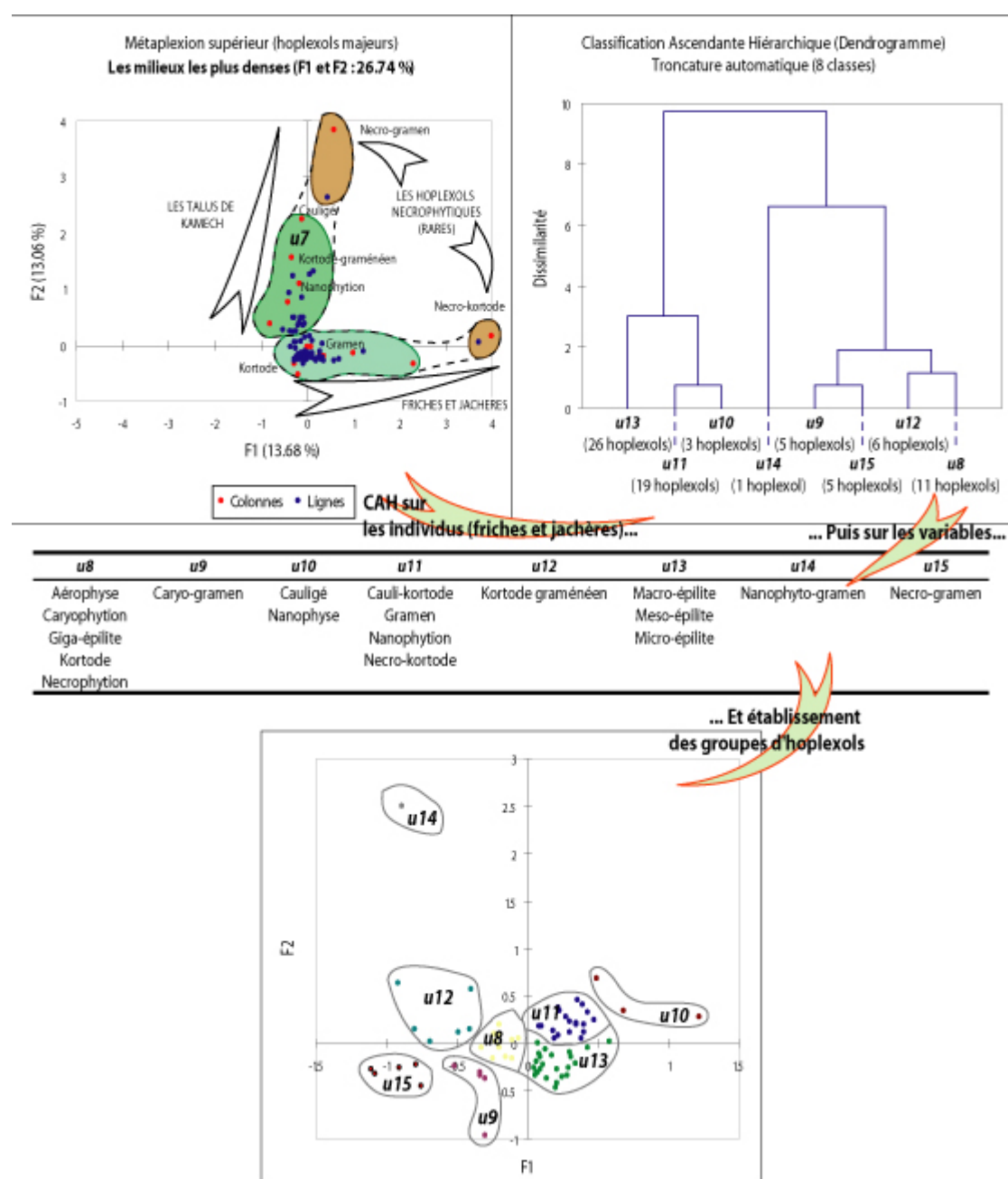
de l'analyse ! Ce caractère renvoie d'ailleurs à la remarque précédente concernant les cycles végétatifs : en l'espace d'un mois, des hoplexols peuvent apparaître (ou disparaître) dans le métaplexion supérieur sans qu'aucun indice ne laisse parfois supposer ce phénomène.

Le reste des hoplexols est globalement centré autour de l'origine des axes ce qui rend difficile leur interprétation à ce niveau de l'analyse. Avec les axes F3 et F4 de nouvelles nuances apparaissent. Ainsi, F4 correspond à la dernière modalité anthropique du métaplexion supérieur. Les kortodes anthropiques (fèves, luzerne...) s'inscrivent sur cet axe avec une contribution de 72,3 % et un cosinus carré de 61,1 %. Ce groupe est noté *u3* sur le graphique situé à droite de la figure 5.15. L'axe F3 correspond donc exclusivement aux *modalités naturelles* de la géosphère (les modalités anthropiques étant déjà classées). Il est toutefois encore difficile de dégager des tendances : de nombreuses variables participent à sa construction, mais toujours dans de faibles proportions : il faut en effet 8 diagnostics primaires (gramen, kortode, aérophyse, coni-prophyse, nanophyse, nanophytion, nécro-nanophytion et nécrophytion) pour obtenir une contribution de 79,6 %. L'analyse des organisations est donc repoussée à plus tard. La première phase de la typologie du métaplexion supérieur s'achève par la différenciation de deux groupes rassemblant peu d'hoplexols mais dont l'importance est capitale pour l'explication des changements survenant dans les géons forestiers d'Abdeladim. Même si cela n'est pas forcément évident à voir sur le graphique (en bas à gauche sur la figure 5.15), les axes F5 et F6 opposent deux composantes : le nanophytion rassemblé dans le groupe *u4* qui sont typiques des talus de Kamech et des coni-prophytes (groupe *u5*) prenant place dans une formation très particulière du boisement d'Abdeladim.

La suite de l'analyse impose une redéfinition de la table de contingence. Celle-ci est réduite à 281 individus et 23 variables. L'AFC réalisée (graphique situé en bas à droite sur la figure 5.15) met en avant trois groupes clairement différenciés. La construction de l'axe F1 repose sur trois variables (qui contribuent à hauteur de 81 %) : l'aérophyse d'un côté (contribution = 13,4 % ; cosinus carré = 72,6 %) et le couple gramen / kortode de l'autre (avec respectivement : contribution = 17,5 % ; cosinus carré = 36,6 % et contribution = 49,6 % ; cosinus carré = 77,6 %). Cet axe traduit en fait la différence de densité des composantes du milieu naturel du kortophytion (ensemble des végétations herbacées, toutes structures confondues), avec sur la partie gauche du graphique les hoplexols les moins denses et donc composés en grande partie d'aérophyse et sur la partie droite de l'axe les hoplexols les plus denses. Toutefois, comme l'analyse des axes suivants ne donne rien d'intéressant au niveau des différences qui surviennent dans ces deux grands ensembles, il s'avère nécessaire de scinder la table de contingence en deux afin de traiter individuellement chacune de ces deux parties (chaque table ayant comme dimensions - lignes * colonnes - respective : 175*19 et 65*18). Enfin, l'axe F2 oppose quelques hoplexols particuliers pouvant être regroupés dans un ensemble correspondant à la steppe clairsemée d'El Hnach. Ce groupe de Nanophyse / cauligé et nanophyto-gramen, ces trois matériaux expliquant environ 80 % de l'inertie de l'axe. Cet axe permet ainsi de définir un sixième groupe d'hoplexols dans le métaplexion supérieur (*u6*). Suite à cela, l'analyse porte sur deux tableaux de contingence étudiés séparément.

V.2.3.1.b - Traitements sur la majorité kortophytion.

Le premier tableau traité concerne les hoplexols affichant une majorité de kortophytion. L'analyse se base sur une table de contingence regroupant 95 individus et 18 variables. Les résultats sont présentés dans la figure 5.16.



**Figure 5.16 : Les groupes d'hoplexols où le kortophytion (toutes formes confondues) est majoritaire...
Mise en évidence de 9 groupes d'hoplexols supplémentaires !**

Les deux premiers axes factoriels de cette phase de l'analyse permettent de dégager directement deux grands ensembles : sur l'axe F1 apparaissent les hoplexols de friches et de jachères rencontrées sur les trois bassins versants tandis que F2 représente le cas plus particulier des talus de Kamech. Caractérisé par une conjonction entre le nanophytion et le kortode graménéen, cet axe décrit d'ailleurs à lui seul le septième groupe de la typologie (u7). Les friches et les jachères nécessitent en revanche d'être différenciées afin de faire ressortir des éléments essentiels à l'analyse. Pour ce faire, le recours à la CAH est indispensable (figure 5.16, graphique en haut à droite et tableau central). Cette technique permet de distinguer huit groupes d'hoplexols. Certains de ces groupes comptent peu d'hoplexols et correspondent à des points très particuliers dans les paysages étudiés. Par exemple, le groupe noté u14, qui se détache très nettement des autres sur l'axe F2 (figure 5.16, graphique du bas) représente les

bas-fonds humides situés en rive gauche de Kamech. D'autres groupes en revanche englobent plus d'hoplexols et se retrouvent sur les trois bassins versants. Trois groupes d'hoplexols, centrés autour de l'origine de ce même graphique, se différencient essentiellement en fonction de la nature de leur composante dominante, même si pour deux d'entre eux (*u8* et *u11*) d'autres diagnostics primaires sont associés au cours de leur distinction. Ainsi, le groupe *u8* renvoie à des milieux de friches ou de jachères composés essentiellement de kortodes alors que la groupe *u11* correspond à des portions d'espaces où les gramens sont légèrement dominants. Enfin, le groupe *u13* est décrit par des composantes minérales du milieu naturel, même si les composantes végétales sont présentes. Toutefois, nous n'entrerons pas plus loin dans l'analyse à ce niveau de l'étude. Tous ces groupes seront définis précisément, comme ce fût le cas pour le supraplexion, dans le point suivant (V.2.3.2).

V.2.3.1.c - Traitements sur la majorité aérophyse.

Enfin, le second et dernier sous-ensemble à faire l'objet d'un traitement exclusif correspond aux hoplexols les moins denses ou, en d'autres termes, ceux qui comptent une part d'aérophyse largement dominante par rapport aux autres composantes de la géosphère. Ces hoplexols se retrouvent sur les trois bassins versants. Les traitements utiles à leur différenciation au sein de ce sous-ensemble se basent sur une table de contingence comportant 175 hoplexols décrits par 19 composantes de la géosphère. L'analyse de ce sous ensemble est réalisée en trois phases : une première AFC sur la table de contingence complète qui permet de définir trois groupes d'hoplexols (et un ensemble où tout est confondu) ; une seconde AFC sur les *résidus* de la première, basée sur une table de contingence reformulée, qui permet de déduire un quatrième groupe ; et enfin deux CAH permettant de préciser certains éléments utiles à l'explication de l'organisation de la géosphère. Ce sont en tout 15 groupes d'hoplexols qui ressortent de l'analyse. Les résultats sont présentés en figure 5.17.

Dans la première phase des traitements, l'axe F1 s'établit autour d'une seule variable (le caryogramme) qui contribue à hauteur de 94,7 % dans sa construction (cosinus carré = 97,2 %) les trois hoplexols qui s'inscrivent dans le groupe défini ici (*u9'*) sont très similaires à ceux du groupe *u9* défini précédemment. La différenciation entre ces deux groupes réside essentiellement dans les proportions des composantes du milieu naturel prises en compte ici ainsi que dans la position qu'elles occupent selon la verticale. L'axe F2 est plus complexe. Il oppose deux groupes d'hoplexols (*u6'* et *u16*) : les steppes du bassin versant d'El Hnach aux jachères anthropiques rencontrées dans les trois bassins versants. A ce titre, il se construit autour de deux variables, le nanophyse et le cauli-kortode, qui contribuent, respectivement à hauteur de 69,4 % et de 21,7 %. Notons que là encore, le groupe *u6'* est à rapprocher du groupe *u6* défini plus haut, les différences résident essentiellement dans des différences de positionnement sur le profil vertical de la géosphère. Le dernier ensemble qui apparaît au cours de cette phase de l'analyse et qui figure autour de l'origine du graphique présenté en haut à gauche de la figure 5.17 nécessite une reformulation de la table de contingence pour être analysé.

La seconde phase de traitement (figure 5.17, graphique en haut à droite) s'appuie sur une table ne contenant plus que 135 individus et 19 variables. Cette étape de l'analyse met en évidence sur l'axe F1, un dix-septième groupe d'hoplexols centré autour d'une seule variable : le nécrophytion (contribution = 78,1 % ; cosinus carré = 83,8 %). De par sa position dans le profil vertical, ce groupe d'hoplexols correspond à ce que l'on pourrait nommer des *litières hautes*, formées essentiellement par des branchages morts mais qui ne reposent pas directement à la surface du sol. Sur l'axe F2, deux nouveaux sous-ensembles se différencient :

les milieux forestiers (qui ne concernent que les hoplexols d'Abdeladim) et les milieux de friches et de jachères (présents sur les trois bassins versants). La distinction de groupes particuliers au sein de ces sous ensembles nécessite d'avoir recours aux techniques de classifications numériques (CAH). Ces classifications mettent en évidence 5 groupes d'hoplexols pour les forêts d'Abdeladim et 6 groupes d'hoplexols pour les friches et les jachères.

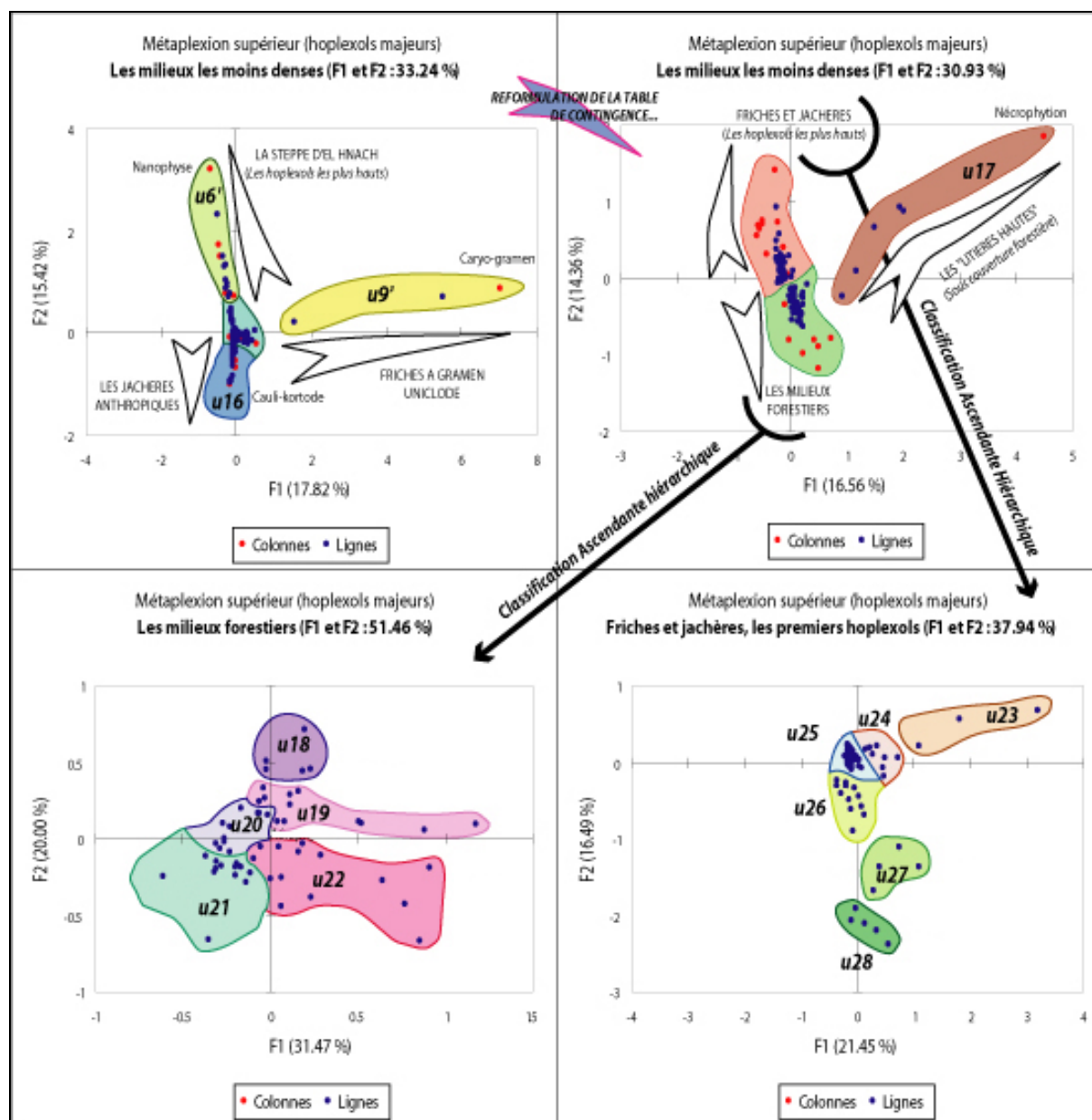


Figure 5.17 : Les groupes d'hoplexols pour lesquels l'aérophysse est toujours majoritaire... Mise en évidence de 15 groupes d'hoplexols.

Au final, les traitements statistiques réalisés mettent en évidence 31 groupes d'hoplexols homogènes mais de taille variable. Ces groupes permettent d'expliquer l'organisation du milieu naturel dans le métaplexion et d'en réaliser une typologie. L'analyse des organisations et des dynamiques qu'elles engendrent fait l'objet du point suivant.

V.2.3.2 - Les groupes d'hoplexols du métaplexion supérieur.

Les traitements statistiques sur le métaplexion supérieur mettent en évidence 31 groupes d'hoplexols permettant de rassembler les quelques 360 hoplexols présents au début de l'analyse. Les différents groupes ainsi que leurs interprétations qu'ils autorisent sont présentés dans les tableaux 5.17 à 5.22. Là encore, les groupements réalisés sont une première étape vers la typologie. Ils sont, à ce titre exposés dans ce point en tant qu'éléments utiles à la compréhension de l'organisation du milieu naturel dans cet ensemble mais ne correspondent pas à la typologie à proprement parler (celle qui prend place dans la typologie des relevés du milieu).

V.2.3.2.a - Les parcelles agricoles mises en culture.

Les quatre premiers groupes définis (tableau 5.17) permettent d'appréhender les différentes organisations dans le milieu anthropique : ces groupes s'établissent sur des parcelles agricoles mises en culture au moment où le relevé fut réalisé. Les quatre groupes d'hoplexols qui apparaissent s'opposent d'ailleurs à tous les autres et forment à ce propos le premier type établi (UI). Une double distinction doit cependant être réalisée au sein de cet ensemble. La première oppose la nature des composantes rencontrées avec les parcelles mises en valeur par des cultures céréalières (*u1*, *u2* et *u2'*) et celles employées à la culture de légumineuses (*u3*). La seconde renvoie aux différents états que peuvent prendre les composantes du milieu naturel au cours des différentes saisons qui se succèdent. Cette seconde distinction ne concerne d'ailleurs que les trois premiers groupes et traduit des stades de croissance de la végétation graminéoïde anthropique, depuis la plante jeune ou adulte (*u2*) jusqu'à la plante "morte" (*u2'*) en passant par la plante ayant atteint la maturation (*u1*) et qui est marquée par l'apparition d'inflorescences. Les changements temporels ainsi matérialisés sont d'ailleurs assez brutaux contrairement à ceux qui surviennent dans le milieu spontané : l'action de l'homme lors de la récolte de ses cultures permet de passer en un temps très bref du stade gramin anthropique à phase caryo-gramin au stade nécro-gramin anthropique. Dans le milieu spontané, ce même changement aurait pris plusieurs semaines, peut-être même plusieurs mois afin de laisser le temps aux plantes d'essaimer leurs graines avant de dépérir.

Les quatre groupes ainsi décrits et se différenciant soit en fonction de leur position verticale sur le profil de la géosphère, soit en fonction de leur position spatiale dans les trois bassins versants sont rassemblés dans le premier type d'hoplexol du métaplexion supérieur et figurent sous le code UI dans la typologie des relevés de milieu. Il est évident que de tels regroupements et le remplacement des hoplexols originaux par des hoplexols correspondant à la valeur moyenne du type défini entraîne une vision évidemment fautive du milieu naturel, dans le sens où chaque type défini ne se retrouvera jamais sur le terrain. De ce fait, la typologie provoque nécessairement une perte d'information sur l'organisation réelle de la géosphère mais elle est nécessaire à sa compréhension globale ainsi qu'à sa formulation dans un modèle spatial explicatif de sa structure et de ses flux. Tous les types définis renvoient à des phénomènes similaires ce qui permet de rester cohérent par rapport à ce qui existe sur le terrain.

Tableau 5.17 : les quatre premiers groupes d'hoplexols définis... Les espaces cultivés.

TYPE	Groupe	Hoplexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation...
UI	u1	6	(Aérophyse, 51 %) caryo-gramen anthropique (48%) , gramen anthropique (1%)	Stade avancé de la croissance de la végétation herbacée anthropique (ne concerne que les parcelles agricoles).
	u2	22	(Aérophyse, 46 %) gramen anthropique (47%) , kortode (2%) caryo-gramen anthropique (2%), nécro-gramen anthropique (2%), cauli-kortode (1%)	Végétation anthropique graminéoïde (blé et orge essentiellement), à différents stades de croissance (suivant saison...) - ne concerne que les parcelles agricoles.
	u2'	19	(Aérophyse 64%) nécro-gramen anthropique (15%) , kortode (7%), nécrophytion (5%), nécro-gramen (3%), gramen (3%), caryo-gramen (1%)	Végétation anthropique graminéoïde (blé et orge) fauchée, seuls les chaumes restent en place, le reste de la plante a disparu lors de la récolte - ne concerne que les parcelles anthropiques.
	u3	5	(Aérophyse, 50%) kortode anthropique (30%) , gramen (13%), kortode (5%), cauli-kortode (2%)	Végétation anthropique non graminéoïde (luzerne et fèves) à différents stades de croissance (suivant saison) - ne concerne que les parcelles agricoles.

V.2.3.2.b - Les talus (rive gauche) de Kamech.

Les deux groupes suivants abordés dans cette analyse des résultats (groupes u4 et u7) participent à l'établissement du second type (UII) d'hoplexols utile à la mise en place de la carte des segments de paysages et à l'explication des structures et des dynamiques du milieu naturel. Les deux groupes correspondent à des hoplexols similaires en terme de composition mais dont la proportion des composantes de la géosphère (et les structures auxquelles elles renvoient) varie de manière significative d'un ensemble à l'autre. Ces deux groupes bien distincts s'inscrivent sur les talus situés en rive gauche du bassin versant de Kamech. Le type UII est d'ailleurs exclusif à cette unité topographique. Si l'on considère chaque ensemble séparément, u4 est majoritairement composé de nanophytion (spinescent) densément planté dans les lieux où il se retrouve. Il en découle des espaces difficilement pénétrables par les hommes et les animaux ainsi que par les flux d'eau et d'énergie. La faible part de la végétation annuelle ou saisonnière (kortophytion) confirme d'ailleurs ce propos : le milieu est trop dense pour permettre à la lumière de filtrer et par conséquent quasiment aucune autre forme végétale ne peut prendre place sous la nanophytion.

Le second groupe présente cette fois une végétation plus diversifiée, composée majoritairement par une végétation annuelle (kortode essentiellement) ou vivace (kortode graminéen) assurant une couverture pérenne de la surface du sol tout en favorisant une meilleure circulation des flux hydriques et énergétiques du fait de la relative discontinuité apparente de l'ensemble.

Les deux groupes affichent toutefois une part d'aérophyse identique, ce qui pourrait porter à croire que leurs comportements vis-à-vis des flux en transit dans le milieu naturel sont les mêmes. Cependant, la structure de la végétation diffère de l'un à l'autre : le groupe u4 présente un feuillage dense, surmontant un espace vide (les tiges des nanophytions), qui forme une ligne continue directement au contact avec l'acropause et qui a tendance à bloquer la progression des flux en profondeur dans le milieu naturel. Le groupe u7 en revanche présente une limite supérieure plus irrégulière laissant de nombreux espaces vides entre les différentes formations végétales qui facilitent le transit des flux dans le milieu. Malgré ces différences

notoires, la répartition spatiale et la superficie équivalente occupée par ces deux types de formations fait qu'il est possible de les rassembler dans un même type d'hoplexol.

Tableau 5.18 : Groupes d'hoplexols des talus de Kamech.

TYPE	Groupe	Hoplexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation...
VII	u4	21	(Aérophyse 46%) nanophyton (28%) , kortode graménéen (7%), kortode (6%), gramen (3%), macroépilite (2%), mésoépilite (2%), cauli-kortode (1%), gigaépilite (1%), microépilite (1%), nanophyto-gramen (1%), nécro-nanophyton (1%), nécrophyton (1%)	<i>Les talus de Kamech (I), marqués par une part importante de végétation buissonnante pérenne dense alternant avec diverses formes de végétation herbacée graminéoïde ou non, vivaces ou annuelles.</i>
	u7	19	(Aérophyse, 46%) kortode (23%) , kortode graménéen (16%) , gramen (6%), nanophyton (3%), cauligé (1%), cauli-kortode (1%), nécro-gramen (1%), nécro-kortode (1%), nécrophyton (1%), gigaépilite (1%)	<i>Les talus de Kamech (II), marqués par une part importante de végétation herbacée monocotylédone vivace (<i>Asphodelus albus</i>) alternant avec des buissons denses et des herbacées (graminoïde ou non) annuelles.</i>

V.2.3.2.c - Les sous-bois d'Abdeladim.

Les traitements numériques permettent de mettre en évidence six groupes d'hoplexols qui caractérisent l'ensemble des formations du métaplexion supérieur dans la forêt d'Abdeladim (tableau 5.18 bis). Ces six ensembles s'inscrivent dans deux types d'hoplexols (VIII et VII) bien distincts (et très disproportionnés en terme de répartition spatiale) qu'il est nécessaire d'analyser conjointement pour comprendre l'organisation du milieu naturel dans les espaces concernés.

Les groupes u5, u19, u20 et u21 qui figurent dans le type VIII correspondent à des hoplexols situés soit directement au pied des arbres (u20 et u21) soit dans leur périphérie (u5 et u19) mais toujours abrités par la canopée. En d'autres termes cela signifie que les hoplexols concernés sont placés sous la protection directe des frondaisons. Ces dernières limitent la progression des flux lumineux et provoquent la quasi-disparition de toute forme vivante de végétation, ou tout au moins limite très sérieusement son développement. De ce fait, les nanophytions établis dans ces secteurs sont marqués par une part de nécro-nanophyton (tiges desséchées encore en place) pratiquement égale au volume de la plante vivante qui les supporte. La végétation herbacée est elle aussi très sévèrement affectée par ce phénomène.

En revanche, lorsque les frondaisons des arbres ne sont pas jointives, il est possible d'observer une modification de cette structure (type VII). En effet, les flux lumineux nécessaires à la croissance de la végétation basse n'étant plus bloqués par les feuillages des arbres, les espèces végétales sous-ligneuse et herbacée du métaplexion supérieur peuvent à nouveau se développer normalement. Cela conduit à la mise en place d'espaces à l'intérieur desquels des végétaux vigoureux apparaissent et contrastent nettement avec les formes similaires présentes dans le type VIII. Notons toutefois que ces cas sont extrêmement rares (seulement quelques hoplexols situés à l'amont de ABD Q1). La plupart du temps, les couvertures continues du supraplexion font que les hoplexols du métaplexion supérieur dans les forêts d'Abdeladim appartiennent à un des groupes caractérisant le type VIII. Les différenciations latérales qui

s'opèrent dans cette forêt, liées à l'action protectrice des frondaisons, conduisent donc à la mise en place d'*auréoles concentriques* centrées autour des troncs des arbres qui correspondent à autant de géotopes similaires d'un point de vue de la nature des essences rencontrées mais opposées en ce qui concerne leurs dynamiques végétatives. Un stade très dégradé de la végétation sous-ligneuse se juxtapose avec un stade bien développé. Les changements latéraux, lorsqu'ils s'opèrent, sont très rapides et les limites de chaque type correspondent exactement à celles du supraplexion.

Tableau 5.18 (bis) : Groupes d'hoplexols dans la forêt d'Abdeladim.

TYPE	Groupe	Hoplexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation...
UIII	u5	4	(Aérophyse, 73%), conî-prophyse (16%), nanophytion (5%), nécro-nanophytion (3%), stylagé (2%)	Hoplexols du métaplexion voyant figurer des éléments du supraplexion (branches basses ou retombantes) et matérialisés par une végétation de sous-bois peu vigoureuse (importante phase nécro-)
	u19	11	(Aérophyse 79%) nécro-nanophytion (8%), gramen (4%), cauli-kortode (3%), kortode (2%), nanophytion (2%), caryo-gramen (1%), gigaépilite (1%)	Hoplexols en périphérie des frondaisons (uniquement sur ABD Q2) marqués par une tendance à la disparition du nanophytion, mais permettant la croissance de la végétation herbacée (toutes formes confondues)
	u20	11	(Aérophyse 85%), stylagé (6%), nécro-nanophytion (4%), cauli-kortode (3%), nanophytion (1%), gramen (1%)	Les hoplexols sous forêts directement protégés par les frondaisons, marqués par la disparition progressive de toute autre forme de végétation (mis à part à un stade nécro-)
	u21	11	(Aérophyse 82%) nanophytion (5%), nécro-nanophytion (4%), stylagé (4%), cauli-kortode (1%), gigaépilite (1%), gramen (1%), kortode (1%)	Les hoplexols sous forêts directement protégés par les frondaisons, marqués par la disparition progressive de toute autre forme de végétation (mis à part à un stade nécro-)
UVII	u17	5	(Aérophyse 74%) nécrophytion (10%), stylagé (3%), nanophytion (3%), nécro-nanophytion (3%), kortode (3%), cauli-kortode (1%), gramen (1%), nanophyto-gramen (1%), macroépilite (1%)	Les litières hautes des milieux forestiers, formées par les branchages morts des arbres qui ne reposent pas directement sur la surface du sol.
	u18	5	(Aérophyse, 79%) nanophytion (15%), nécro-nanophytion (5%), gigaépilite (1%)	Végétation buissonnante composée essentiellement d'espèces aromatiques (thym, romarin...), apparaissant dans le boisement d'Abdeladim, dans les espaces non protégés par les formations du supraplexion

V.2.3.2.d - La steppe d'El Hnach.

Les groupes d'hoplexols présentés dans le tableau 5.19 correspondent là encore à un paysage bien particulier : celui des *steppes* présentes sur le bassin versant d'El Hnach. L'organisation du métaplexion dans cet ensemble (codé UIV dans la typologie) permet la distinction de trois groupes d'hoplexols uniquement représentés sur la première et la troisième toposéquence de ce bassin versant.

Tableau 5.19 : Les groupes d'hoplexols de la steppe d'El Hnach.

TYPE	Groupe	Hoplexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation ...
UIV	u6	14	(Aérophyse, 61%) nanophyto-gramen (20%) , nanophyse (5%), kortode (4%), nanophytion (3%), gigaépilite (3%), cauligé (2%), cauli-kortode (1%), macroépilite (1%)	Végétation steppique présente sur Q1 (R3 et R4) quasi-généralisée sur Q3. Caractérisée par une part importante de végétation herbacée vivace (<i>Macrochloa tenacissima</i>) poussant en touffes éparses et laissant d'importantes portions de sol non protégées
	u6'	13	(Aérophyse, 80%) nanophyse (14%) , cauli-kortode (2%), cauligé (1%), nanophytion (1%), nanophyto-gramen (1%), gigaépilite (1%)	Végétation steppique clairsemée, présente sur El Hnach (essentiellement Q1).
	u10	3	(Aérophyse 45%) kortode (40%) , nanophyse (7%), cauligé (7%), gramen (2%), macroépilite (1%)	Végétation steppique dense présente sur El Hnach (uniquement sur Q1 R6)

Quelques distinctions concernant les densités des couvertures végétales apparaissent au sein de cet ensemble. En effet, le groupe *u6* rassemble essentiellement des hoplexols rencontrés sur Q3 (ainsi qu'à l'amont du glaciaire de Q1) et caractérisés par une densité importante de nanophyto-gramen poussant en touffes isolées donnant une impression de discontinuité des couvertures végétales. Malgré cela, la protection de la surface du sol est tout de même assurée dans ces espaces par une végétation herbacée rase qui figure dans la typologie du métaplexion strict. L'analyse complète des dynamiques de cet ensemble ne peut donc être réalisée pour l'instant.

Ce premier ensemble s'oppose au groupe *u6'*, essentiellement présent sur Q1 et représenté par une végétation d'une forme très particulière. Ce groupe est en effet presque exclusivement composé d'une juxtaposition de plantes, situées à la limite entre les végétaux herbacés et les végétaux sous-ligneux, aux feuillages succulents reposant sur une tige unique (cauligé) parfaitement séparée des *branches* supportant les feuilles (nanophyse) et faisant penser, à s'y méprendre, à des arbres miniatures ne dépassant guère la trentaine de centimètres. Cette forme de végétation, qui offre une très faible protection de la surface du sol, laisse penser que l'ensemble est soumis à une très forte érosion hydrique (renforcé par le caractère battant des sols). Le groupe *u10* enfin, caractérisant un seul relevé présent sur Q1, apparaît comme un accident dans la steppe clairsemée présentée précédemment. Le géotope qu'il matérialise offre une couverture végétale dense mais saisonnière, essentiellement représentée par des végétaux herbacés non-graminiforme qui offrent une couverture respectable du sol.

V.2.3.2.e - Les milieux de friches et de jachères anthropiques.

L'ensemble présenté dans le tableau 5.20 rassemble un nombre très important d'hoplexols et correspond aux milieux où la végétation herbacée est largement dominante sur toutes les autres composantes de la géosphère. Les groupes correspondent à la fois aux jachères anthropiques et aux friches en milieu spontané, ce qui permet de distinguer deux types d'hoplexols différents : le type *UV*, correspondant aux jachères anthropiques des trois bassins versants et caractérisés par une durée de vie limitée (liée à l'action de l'homme), et le type *UIX* correspondant aux friches présentes dans le milieu spontané affichant une persistance sur le plus ou moins long terme.

Tableau 5.20 : les groupes d'hoplexols des milieux de jachères et de friches.

TYPE	Groupe	Hoplexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation
UV	u8	11	(Aérophyse 45%) kortode (27%), gramen (16%), cauli-kortode (3%), nécrophytion (3%), gigaépilite (2%), nécro-kortode (2%), macroépilite (1%), nanophytion (1%)	Les milieux de jachères denses sur parcelles anthropiques non-exploitées (sauf pour le bétail) Groupe caractérisé par les hoplexols proches de la surface du sol (h+1).
	u11	19	(Aérophyse 44%) kortode (48%), gramen (3%), nécro-kortode (2%), cauli-kortode (1%), nécrophytion (1%)	Les milieux de jachères denses sur parcelles anthropiques non-exploitées (sauf pour le parcours ovin). Majoritairement composée de végétation herbacée annuelle non-graminoïde (groupe majoritairement sur Kamech, mais présente sur les trois bassins versants)
	u12	6	(Aérophyse 26%) kortode (30%), gramen (30%), cauli-kortode (3%), nécrophytion (3%), nécro-kortode (3%), nanophyto-gramen (2%), gigaépilite (1%), macroépilite (1%), nanophytion (1%)	Les milieux de jachères denses sur parcelles anthropiques non-exploitées (sauf pour le bétail) Groupe caractérisé par les hoplexols proches de la surface du sol (h+1).
	u13	26	(Aérophyse 65%) kortode (21%), gramen (6%), macroépilite (2%), mésoépilite (2%), microépilite (2%), nécrophytion (2%)	Groupe d'hoplexols proches de la surface du sol (h+1 et h+2), dans les milieux de jachères clairsemées (présente sur les trois bassins versants mais typique du glacis d'Abdeladim (Q2))
	u15	5	(Aérophyse 54%) gramen (15%), nécrophytion (11%), kortode (11%), nécro-gramen (3%), cauli-kortode (3%), gigaépilite (2%), macroépilite (1%)	Hoplexols à végétation herbacée graminoïde en état avancé de dessèchement souvent lié à un manque d'eau causé soit pas l'approche de la saison sèche (Abdeladim), soit par un sol peu profond ne permettant pas de conserver une réserve hydrique suffisante aux besoins élémentaires des plantes (Kamech et El Hnach).
	u16	25	(Aérophyse 75%) cauli-kortode (16%), kortode (5%), nécro-kortode (2%), gramen (2%)	Hoplexols intermédiaires marqués par les inflorescences de la végétation herbacée non-graminoïde dans les jachères anthropiques.
UIX	u22	10	(Aérophyse 81%) nanophytion (9%), nécro-nanophytion (3%), gramen (2%), kortode (2%), gigaépilite (2%), cauli-kortode (1%)	Hoplexols à nanophytion "clairsemé", présent sur les trois bassins versants mais renvoyant à des milieux différents : les talus de Kamech (situés en rive droite), le revers de la première séquence d'El Hnach ainsi que quelques hoplexols forestiers d'Abdeladim non protégés par les frondaisons
	u9	5	(Aérophyse 47%) gramen (34%), cauli-kortode (10%), kortode (3%), caryo-gramen (3%), nanophytion (1%), nécro-nanophytion (1%), nécro-gramen (1%)	Milieux de friches (Abdeladim) et de jachères (Kamech) caractérisés par une large domination de la végétation herbacée graminoïde.
	u9'	2	(Aérophyse 71%) caryo-gramen (23%), gramen (3%), nécro-nanophytion (2%), nanophytion (1%)	Hoplexols rares, situés à l'amont de ABD Q2, et essentiellement constitués par une les inflorescences des gramen formant un ensemble pseudo-continu

La différence fondamentale signalée précédemment ne transparaît d'ailleurs pas directement à l'issue des traitements numériques. En effet, les groupes d'hoplexols, qu'ils appartiennent aux milieux anthropiques ou spontanés, affichent de nombreuses similitudes au niveau des composantes de la géosphère (en qualité, quantité et répartition) si bien que la distinction entre les deux groupes ne peut se faire qu'en connaissant l'emplacement des relevés auxquels

appartiennent les hoplexols traités dans cette partie de l'analyse. Ainsi, les groupes du type *UIX* sont relativement limités spatialement et correspondent à quelques observations ponctuelles : certains talus situés en rive droite du bassin versant de Kamech, quelques piémonts d'Abdeladim et le revers du relief de commandement d'El Hnach. Les groupes d'hoplexols du type *UV* connaissent en revanche des répartitions plus aléatoires essentiellement dues à la décision de l'homme de mettre en valeur ou non sa parcelle pour une année donnée. De ce fait, une parcelle relevée en jachère dans cette typologie peut très bien ne plus exister en tant que telle actuellement ; de même, une parcelle affichant une végétation anthropique -type *UI*- peut basculer dans le type *UV* d'une année sur l'autre. Suivant ce principe, la superficie occupée par des parcelles en jachères peut varier considérablement d'une année sur l'autre, en fonction des assolements choisis ou de l'état des réserves hydriques des sols au moment du semis. Ce point de détail a d'ailleurs une importance remarquable dans les milieux les plus secs (El Hnach et Abdeladim) car si les pluies arrivent trop tard ou en quantité insuffisante, les champs ne seront pas semés.

Mis à part ces quelques considérations et les distinctions des deux types de milieu peu d'éléments sont à signaler quant à l'organisation interne de ces milieux. En effet, mis à part des différences notoires liées à leurs changements dans le temps (germination, floraison, dessèchement), ou à quelques particularités spatiales (profondeur des sols), aucune différence vraiment fondamentale n'intervient. Les hoplexols s'organisent toujours de la même manière suivant l'axe vertical, où la complexité et la densité s'accroissent à mesure que l'on s'approche de la surface du sol et une part de vide plus importante dans les hoplexols les plus hauts. Tous les hoplexols d'un même groupe présentent une monotonie latérale remarquable quel que soit le lieu où ils sont observés.

V.2.3.2.f - Les bas-fonds humides de Kamech.

Le type *UVI*, correspondant aux bas-fonds humides situés dans les espaces de collines situées en rive gauche du bassin versant de Kamech est tout à fait unique en son genre. Composé d'un seul groupe de trois hoplexols, tous issus du même relevé (KAM Q2 R6), il contraste avec tous les autres hoplexols du métaplexion supérieur car c'est le seul à rassembler des éléments de végétation hydrophile parmi tous les relevés réalisés.

Tableau 5.21 : Groupe et type unique représentant les bas-fonds humides de Kamech.

TYPE	Groupe	Hoplexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation...
UVI	u14	3	(Aérophyse 57%) kortode (19%), nanophyto-gramen (10%), nanophyto-gramen (6%), gramen (5%), cauli-kortode (2%), nécro-kortode (1%)	Hoplexols typiques des bas-fonds humides du bassin versant de Kamech. Végétation hydrophile herbacée vivace (type juncacées), couplée avec une végétation herbacée annuelle essentiellement non-graminoïde. Type unique, relevé sur KAM Q2 R6

Ce type regroupe donc un très petit nombre d'hoplexols, mais il est d'une importance remarquable dans l'analyse des chemins de l'eau dans le milieu naturel. Il est uniquement situé dans les bas-fonds des vallons situés en rive gauche du bassin versant de Kamech (inscrits dans les facettes topographiques de type 4) car il implique un fonctionnement hydrodynamique tout à fait particulier. L'eau est stockée dans le sol en quantité suffisante et sur une période relativement conséquente pour permettre le maintien de ce type de végétation. Ceci implique donc de rechercher les causes de cette saturation en eau en ces lieux et de

s'interroger sur les conséquences qu'elles peuvent avoir au niveau des dynamiques hydriques du milieu naturel. Toutefois, réaliser dès maintenant une analyse plus fine de ce phénomène semble encore prématuré du simple fait que nous ne disposons pas encore de tous les éléments nécessaires.

V.2.3.2.g - Les hoplexols à forte part d'aérophyse.

Le dernier type qui ressort de cette analyse concerne les hoplexols présentant une part largement dominante d'aérophyse (tableau 5.22). Il s'agit en fait des premiers hoplexols sur le profil vertical (h1 et à la limite h2), c'est-à-dire ceux qui sont le plus haut dans le métaplexion supérieur. Compte tenu du fait que le supraplexion n'existe que sur Abdeladim, ces hoplexols sont aussi les plus hauts dans les trois paysages étudiés. Ils se retrouvent partout où des végétaux herbacés existent et par conséquent sont très fréquents dans les milieux de jachères et de friches. A ce titre, ils s'organisent en interaction avec les différents groupes d'hoplexols présents dans les types UV et UX : les hoplexols appartenant aux groupes UVIII correspondent en effet au stade maximal de la croissance de la végétation herbacée et sont essentiellement définis par les hampes florales des kortodes. Ce sont d'ailleurs ces dernières qui permettent, dans tous les cas, leur différenciation lors de la phase de collecte d'informations sur le terrain.

Cette caractéristique leur confère une temporalité très particulière : en début de cycle, lorsque la plante n'a pas encore commencé à se reproduire, ces hoplexols n'existent pas dans le milieu naturel. De ce fait, le métaplexion supérieur présente au cours de cette période un développement moins important. Lorsque la plante a atteint son stade maximal de croissance et qu'elle entame sa phase de reproduction, les hoplexols du type UVIII apparaissent (généralement au cours du printemps) très rapidement (la durée de leur mise en place est de l'ordre de quelques jours seulement) et vont se maintenir jusqu'à ce que la plante disparaisse complètement, ce qui peut prendre un temps relativement long dans le milieu spontané et souvent court dans les *milieux spontanés anthropiques* (jachères). En effet, en milieu non régi par l'homme certaines plantes annuelles desséchées peuvent persister pendant de longs mois avant de tomber au sol (elles sont alors à un stade nécro- en attente de devenir du nécrophyton) alors qu'en milieu anthropisé il suffira d'un *coup de charrue* pour les faire disparaître. Ces cas s'appliquent d'ailleurs aussi bien à toutes les formations végétales présentes sur les jachères, quel que soit leur stade de développement ! Cette temporalité va de paire avec les changements saisonniers et plus précisément en fonction de *la saison des pluies*. En effet, le début du développement de ces hoplexols est très dépendant de la durée de la période pluvieuse. Leur mise en place coïncide généralement avec la fin de cette dernière dès lors que le stress hydrique commence à se faire sentir. Les plantes cherchent alors à se reproduire rapidement avant d'avoir épuisé toute la ressource en eau nécessaire à leur survie et à leur reproduction. De ce fait, la période au cours de laquelle s'établissent ces hoplexols peut varier d'une année à l'autre. Du point de vue de l'hydrodynamique du milieu, ces hoplexols sont un excellent indicateur sur l'état de la réserve en eau contenue dans les sols.

Leur positionnement dans le profil vertical de la géosphère fait que les hoplexols de ce groupe sont les premiers à recevoir les pluies. Toutefois, la très faible part de matériaux solides qu'ils affichent les rend quasiment inexistant du point de vue du cheminement de l'eau dans le milieu naturel.

Tableau 5.22 : Groupes d'hoplexols rassemblant les points les plus hauts sur le profil vertical.

TYPE	Groupe	Hoplexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation ...
UVIII	u23	2	(Aérophyse 92%) nanophyse (6%) , cauli-kortode (2%)	Variante de certains hoplexols du groupe u6' (les hoplexols les plus hauts sur le profil vertical)
	u24	7	(Aérophyse 90%) kortode graménéen (4%) , cauli-kortode (2%) , kortode (1%), nanophytion (1%), nanophyto-gramen (1%), nécro-kortode (1%)	Variante des hoplexols du groupe u7 (les hoplexols les plus hauts sur le profil vertical)
	u25	50	(Aérophyse 94%) cauli-kortode (1%) , gigaépilite (1%), gramen (1%), kortode (1%), nanophytion (1%)	Les hoplexols les plus hauts dans les friches spontanées et les jachères anthropiques ... Large majorité d'air et développement de quelques phases renvoyant aux formations situées plus bas dans le relevé.
	u26	15	(Aérophyse 88%) kortode (9%) , cauli-kortode (2%), gramen (1%)	Les premiers hoplexols rencontrés dans les relevés des milieux de jachères desséchées (action saisonnière ou faible capacité de rétention d'eau du sol)
	u27	3	(Aérophyse 86%) nanophyto-gramen (11%) , gigaépilite (2%), nanophytion (1%)	Les hoplexols les plus hauts dans la steppe d'El Hnach
	u28	4	(Aérophyse 81%) nanophytion (8%) , kortode (5%), kortode graménéen (2%), nanophyse (2%), cauligé (1%), nanophyto-gramen (1%)	Les premiers hoplexols rencontrés dans les relevés réalisés sur les talus de Kamech (u4) et dans certains relevés des steppes d'El Hnach.

V.2.3.3 - Les types d'hoplexols du métaplexion supérieur.

L'analyse des hoplexols différenciés sur le terrain permet la mise en évidence de 31 groupes qui affichent des tendances similaires du point de vue de la nature et du volume des composantes qu'ils rassemblent et/ou des dynamiques végétales qu'ils représentent. Ces groupes peuvent eux-mêmes être rassemblés dans huit types qui affichent des caractéristiques similaires du point de vue des types de localisations dans lesquels ces formations se retrouvent mais aussi des dynamiques végétales et des comportements hydrodynamiques qu'ils affichent. Les huit types d'hoplexols définis et présentés dans le tableau 5.23 sont ceux qui sont utilisés lors de la typologie des relevés. Chaque type est alors caractérisé par la composition moyenne des hoplexols qui s'y inscrivent et de ce fait, c'est cette composition moyenne qui prend place dans le découpage en segments de paysages.

Tableau 5.23 : les types d'hoplexols du métaplexion supérieur = la « végétation herbacée »

Liste des abréviations : *Id* - Interception directe ; *Ed* - Evaporation directe ; *Rv* - Redistribution verticale ; *Tv* - Transit vertical ; *Et* - Evapotranspiration. Les signes "+ +", "+", "-", et "-" correspondent à une interprétation qualitative des dynamiques hydriques réalisée à la fois en fonction de la composition moyenne de chaque type d'hoplexol (composantes du milieu naturel, structure des composantes, densité et répartition) mais aussi en fonction des différences de comportement supposées entre ces différents types. A ce titre, et même si aucune mesure de flux n'y est réalisée, ils permettent une première comparaison entre les ensembles définis.

TYPE	<i>Les formes rencontrées dans le milieu</i>	<i>Interprétation dynamique</i>	<i>Bilan de l'eau et de la matière</i>	<i>Id</i>	<i>Ed</i>	<i>Rv</i>	<i>Tv</i>	<i>Et</i>
UI	<i>Végétation herbacée anthropique graminéoïde ou non. Forme allongée suivant la verticale, assurant une bonne couverture de la surface du sol lorsque la densité est suffisante.</i>	<i>Présence saisonnière liée à l'action de l'homme</i> apparition rapide, croissance moyenne et disparition brutale	Interception et redistribution de la pluie, évaporation directe. Généralisée aux parcelles agricoles mises en valeur pour une année donnée. Transit et évapotranspiration	++	+	+	+	++
UII	<i>Végétation spontanée dense des talus de Kamech. Forme étalée sur l'axe latéral, limitant fortement la progression des flux vers la surface du sol (taux de couverture important)</i>	<i>Présence pérenne des diverses formes végétales</i> dynamiques saisonnières marquées essentiellement par la croissance des hampes florales	Interception et redistribution de la pluie, évaporation directe... très localisé spatialement (talus de Kamech). Transit et évapotranspiration	++	+	++	++	++
UIII	<i>Végétation spontanée clairsemée sous couvertures forestières. Formes buissonnantes de faible développement (latéral et vertical), disposées en auréoles concentriques autour des stylagés</i>	<i>Présence pérenne des formes végétales...</i> dynamiques marquées par une tendance à la disparition progressive des végétaux du fait du manque de lumière	Interception et redistribution de la pluie de très faible importance. Transit et évapotranspiration...	-	--	-	-	+
UIV	<i>Végétation spontanée clairsemée de la steppe d'El Hnach. Plantes herbacées buissonnante de faible extension latérale, réparties en touffes et végétation kortophytique de faible développement vertical mais d'extension latérale conséquente.</i>	<i>Présence pérenne des formes végétales</i> Dynamiques saisonnières marquées par l'apparition ou la disparition de certaines formes végétales, sans que la base utile à la différenciation ne subisse de grand changements au cours du temps.	Interception et redistribution de la pluie, évaporation directe de faible importance du fait de la faiblesse des couvertures végétales. Evapotranspiration.	--	-	++	-	+
UV	<i>Végétation spontanée dense en milieu anthropique. Plantes herbacées graminéoïdes ou non d'extension latérale et de développement souvent faible mais dont la densité assure une très bonne couverture de la surface du sol.</i>	<i>Présence saisonnière liée à l'action de l'homme</i> Apparition et croissance souvent rapide pendant la saison des pluies et pouvant rester longtemps à un stade nécrophytique. Disparition liée au labour, quelque soit le stade de croissance atteint	Interception et redistribution de la pluie, évaporation directe. Importance remarquable du fait de la densité des couvertures végétales. Transit et évapotranspiration	++	+	-	+	++

Tableau 5.23 (suite) : les types d'hoplexols du métaplexion supérieur.

TYPE	<i>Les formes rencontrées dans le milieu</i>	<i>Interprétation dynamique</i>	<i>Bilan de l'eau et de la matière</i>	<i>Id</i>	<i>Ed</i>	<i>Rv</i>	<i>Tv</i>	<i>Et</i>
UVI	<i>Végétation spontanée dense en milieu hydrophile. Plantes herbacées de formes diverses, développement vertical et extension latérale importantes assurant une très bonne couverture de la surface du sol.</i>	<i>Présence pérenne liée à de petits aquifères situés en fond de vallon sur le bassin versant de Kamech. Dynamique saisonnière marquée par la mise en place des hampes florales des diverses espèces...</i>	<i>Interception et redistribution de la pluie, évaporation directe</i> Importance remarquable du fait de la densité des couvertures végétales. <i>Transit et évapotranspiration</i>	++	+	-	++	++
UVII	<i>Végétation spontanée clairsemée sous couvertures forestières. Formes buissonnantes de faible développement (latéral et vertical), disposées en auréoles concentriques autour des stylagés</i>	<i>Présence pérenne des formes végétales</i> Dynamiques de croissances remarquables marquées par la présence de jeunes tiges sur les nanophytions en place (en opposition avec le type UVIII)	<i>Interception et redistribution de la pluie</i> De très faible importance du fait de la faiblesse des couvertures végétales. <i>Transit et évapotranspiration</i>	+	-	-	+	+
UVIII	<i>Végétation spontanée très clairsemée dans les friches et les jachères anthropiques. Formes filiformes présentant un fort développement vertical et une très faible extension latérale</i>	<i>Présence saisonnière apparaissant uniquement lorsque la plante a atteint sa maturité sexuelle</i> Apparition rapide à la fin de la saison des pluies et indiquant que les plantes cherchent à se reproduire (développement des hampes florales)	<i>Interception et redistribution de la pluie, évaporation directe</i> Très faible intervention sur les dynamiques hydriques du fait de la finesse des formes observées. <i>Transit et évapotranspiration</i>	--	--	-	-	--
UVIX	<i>Végétation spontanée clairsemée appartenant aux trois paysages. Formes diverses mais toujours peu couvrantes et laissant une large part de sol nu</i>	<i>Présence pérenne des formes végétales.</i> Dynamiques saisonnières marquées essentiellement par la croissance des hampes florales	<i>Interception et redistribution de la pluie, évaporation directe</i> De très faible importance. <i>Transit et évapotranspiration</i>	-	-	+	+	+

Notons que contrairement au supraplexion, pour lequel les dynamiques hydriques étaient clairement différenciées par la nature des matériaux et leur position sur le profil vertical, les types d'hoplexols du métaplexion supérieur montrent une très grande similarité dans les comportements. En effet, chaque ensemble assure toujours la totalité des dynamiques hydriques : interception de la pluie et évaporation directe, redistribution verticale de la pluie (du haut vers le bas), transit vertical par remontée de la sève (du bas vers le haut) et évapotranspiration. De nombreuses nuances apparaissent cependant en fonction des structures végétales en présence et de leur développement vertical, de la densité apparente de ces structures et de leur répartition latérale si bien qu'il est d'ores et déjà possible de les comparer. A titre d'exemple, les types UVII et UVIII sont fondamentalement opposés du point de vue des dynamiques hydriques même s'ils appartiennent souvent aux mêmes relevés (ils sont d'ailleurs souvent superposés dans le profil vertical, les hoplexols du type UVIII surmontant ceux du type UVII). En effet, les formes en présence et les structures végétales qu'elles déterminent (denses et touffues pour les unes, lâches et fines pour les autres) les opposent vis-à-vis de leur action sur l'eau dans le milieu : les hoplexols du type UVIII, placés en premier sur le

cheminement des flux n'interviennent guère dans leur transformation tandis que ceux du type UII jouent un rôle protecteur non négligeable pour les hoplexols sous-jacents de part leurs interventions en terme d'interception de l'eau de pluie et de la redistribution qu'ils opèrent. En ce sens, ils permettent de casser l'énergie délivrée par le flux concerné et limitent l'impact que ce dernier aura lorsqu'il touchera la surface du sol.

Toutefois, les interprétations permises sont encore très limitées car elles ne tiennent évidemment pas compte de l'ensemble des hoplexols du relevé. Il s'agit donc d'avancer dans la typologie avant de pouvoir tirer des conclusions plus pertinentes. En effet, c'est véritablement au niveau des types de relevés (et des types de segments dans lesquels ils s'inscrivent) que les interprétations finales des chemins de l'eau dans le milieu naturel peuvent être réalisées en confrontant à la fois les organisations présentes et les systèmes de pente dans lesquelles elles s'inscrivent.

V.2.4 - Les types d'hoplexols dans le métaplexion strict.

V.2.4.1 - Les traitements numériques du le métaplexion strict (T).

Le troisième ensemble traité dans cette typologie des états de la géosphère correspond au métaplexion strict. La classification de cet hoplexion repose sur une série d'AFC basée sur une table de contingence comprenant 216 individus (hoplexols) et 47 variables (diagnostics primaires). L'originalité principale de cet ensemble est de mélanger à la fois des composantes minérales, organo-minérales, organiques et biotiques (végétales) en proportions à peu près identiques. Cette caractéristique conduit d'ailleurs rapidement à la nécessité de traiter les données au travers de plusieurs tables de contingence en fonction de la position des hoplexols par rapport à la surface du sol : les hoplexols négatifs (h-1 essentiellement) à dominante minérale et les hoplexols positifs (h+1 et éventuellement h+2) à dominante essentiellement organique.

Cet hoplexion figure parmi les plus complexes à analyser. En effet les matériaux que l'on y rencontre ne sont pas nécessairement des diagnostics originaux du métaplexion strict mais peuvent provenir de l'ensemble des autres hoplexions, depuis l'infraplexion (présence de régolite en affleurement par exemple), jusqu'au supraplexion (phase de stylagé). Les formes que l'on y rencontre et les processus qui s'y déroulent sont d'une importance capitale en ce qui concerne les dynamiques hydriques, notamment l'infiltration de l'eau dans les sols et le ruissellement à la surface de celui-ci.

V.2.4.1.a - Première étape : la table de contingence dans son intégralité.

Plusieurs séries de traitements sont nécessaires pour aboutir à la typologie finale du métaplexion strict. En premier lieu, l'analyse factorielle réalisée sur le tableau complet met en avant des structures qui se différencient sur les huit premiers axes factoriels (figure 5.18). Au delà du huitième axe, la table de contingence doit être reformulée. L'analyse porte alors sur les deux sous-ensembles qui se détachent sur F5 et F6 (de la première analyse) : les hoplexols positifs et les hoplexols négatifs du métaplexion strict...

La première analyse factorielle dont les résultats sont présentés en figure 5.18, met en avant quelques particularités. Ainsi, si l'axe F1 ne permet aucune distinction directe, du fait de la multiplicité des matériaux d'origine diverse qui prennent part dans sa construction, l'axe F2 est caractérisé par la seule variable hypso-régolite dont les contributions absolues et relatives s'élèvent respectivement à 97,3 % et 98,5 %. Un seul hoplexol, situé en amont de la seconde toposéquence d'Abdeladim est lié à cet axe et le définit pleinement.

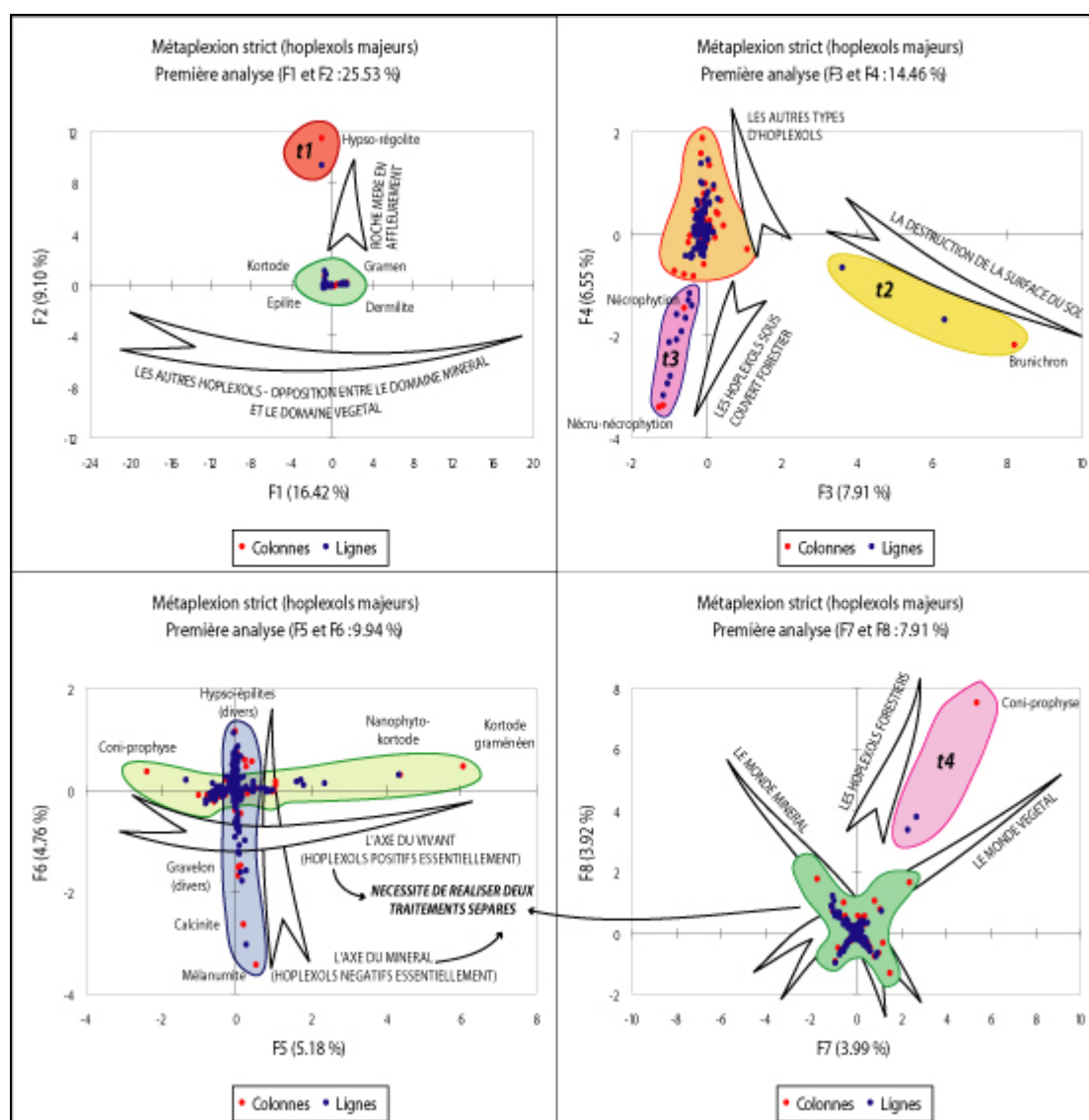


Figure 5.18 : Les premiers groupes d'hoplexols du métaplexion strict (T)...

La suite de l'analyse nécessite de s'intéresser aux axes F3 et F4. Deux éléments importants y figurent. Ainsi, l'axe F3 se construit autour de la variable brunichron dont les contributions absolues et relatives sont, respectivement, de 87,1 % et 89,5 %. Cette variable pose problème : dans le milieu naturel le brunichron ne devrait pas se retrouver dans cette position ou du moins pas sous cette forme. En effet au niveau du métaplexion strict, les matériaux pédiques se présentent *normalement* sous la forme d'une croûte que l'on nomme dermilite qui correspond généralement à la croûte de battance (lorsqu'elle existe) et ce, quelle que soit la nature du substrat pédologique. Seulement deux hoplexols sont concernés par ce phénomène (dans le groupe t2) et même si ce fait est très restreint spatialement, il mérite toute notre attention : l'apparition de brunichron à ce niveau témoigne en effet d'un dysfonctionnement du milieu naturel et renvoie à l'idée d'une destruction de la croûte superficielle du sol et à son remplacement par une fine pellicule poudreuse et de quelques petites plaques de dermilite à l'état libre correspondant à des restes du dermilite originel. Cette désorganisation du milieu est indirectement liée à l'action anthropique : elle correspond au passage répété des troupeaux d'ovins dans les jachères situées à l'amont du bassin versant d'El Hnach (dans les facettes topographiques de type 7). Le piétinement des animaux conduit au décollement et à la destruction de la croûte superficielle du sol. Notons enfin que ce phénomène n'est pas

irréversible : seuls les premiers millimètres du *sol* sont concernés si bien qu'une pluie d'intensité suffisante permettra de reformer la croute.

L'axe F4, construit autour des variables nécrophytion (contribution = 29,7 % ; cosinus carré = 63,3 %) et nécru-nécrophytion (contribution = 41,4 % ; cosinus carré = 70,5 %), met en évidence certains géotopes forestiers du métaplexion strict qui forment le groupe *t3*. En effet, 10 des 11 hoplexols qui s'y inscrivent, tous situés juste au dessus de la *surface du sol* (soit à h+1), définissent un géotope particulier constitué en grande partie de litières organiques constituées d'aiguilles de pins. Ces géotopes s'étendent de manière circulaire au pied des arbres et occupent l'espace forestier soit de façon continue lorsque la couverture des paliphytes et des prophytes le permettent et discontinue lorsque les arbres sont trop éloignés les uns des autres pour former une ensemble protecteur suffisant. Les accumulations de matières organiques en ces lieux permettent aussi une interprétation sur les dynamiques hydriques et érosives du milieu. En effet, le temps nécessaire à la mise en place d'une couche cohérente de nécrophytion, et à fortiori de nécru-nécrophytion, est relativement long. Ceci témoigne d'une absence de processus érosifs dont l'action aurait conduit à limiter la mise en place de ces litières ou à démanteler celles existantes et renvoie à l'idée d'une stabilité temporelle du milieu (Richard, 2003). En cela, les hoplexols de ce groupe s'opposent à ceux qui leur sont proches spatialement et qui se caractérisent par des accumulations minérales. Leur analyse vient plus tard dans la typologie. En outre, deux hoplexols de Kamech se rapprochent, du fait de leur teneur en nécru-nécrophytion, de ce groupe. Ceux-ci prennent place dans des secteurs humides où la végétation est pérenne et où la tendance générale est à l'accumulation des matériaux. C'est notamment le cas du sixième relevé de la seconde séquence (KAM Q2 R6 h4 h+1) qui est, rappelons-le, le relevé typique des bas-fonds humides sur ce bassin versant. Ceci n'est d'ailleurs pas un hasard si l'on se place dans l'optique de la stabilité du milieu : aucune action naturelle ou anthropique n'intervient pour dégager les accumulations superficielles de matières organiques si bien qu'à terme les processus de dégradation des végétaux morts à l'œuvre conduisent à la mise en place d'une couche cohérente de litière d'*humus*.

La projection des individus et des variables sur F5 et F6 (figure 5.18, graphique en bas à gauche) ne permet pas de définir de groupe à proprement parler. En revanche, elle réalise une distinction essentielle entre deux grands ensembles d'hoplexols : les hoplexols positifs situés à h+1 (donc ceux situés juste au dessus de la surface du sol) corrélés à F5 et les hoplexols négatifs situés à h-1 (donc ceux correspondant à la surface du sol) liés très fortement à F6. Ces deux ensembles figurent également sur le dernier graphique de la figure 5.18. Malheureusement, peu de distinctions sont permises à ce stade de l'analyse et il s'avère indispensable de les séparer et de les traiter indépendamment. Sans que cela ne soit vraiment préjudiciable à l'analyse, cette distinction limite l'étude directe des interactions qui peuvent exister entre ces deux blocs. Toutefois, comme aucun élément d'interprétation ne ressort clairement à ce niveau, il s'avère indispensable de scinder la table de contingence.

Enfin, un dernier groupe (*t4*) apparaît dans cette première partie de l'analyse. Centré autour du conifère-pénéprophyte (qui s'inscrit à la fois sur F7 et F8 en signant les deux meilleures contributions absolues), les deux hoplexols qui s'inscrivent dans ce groupe correspondent là encore à des hoplexols forestiers mis en place du fait de la protection des feuillages. A ce titre, ils affichent, comme pour *t3*, une forte teneur en nécrophytion. La seule différence qui existe entre eux réside dans le fait que les feuillages sont présents dans le métaplexion strict pour *t4* alors qu'ils sont absents pour *t3*. Dans un cas, ce sont les arbres adultes qui agissent sur la surface du sol alors que dans l'autre ce sont les plus jeunes arbres rencontrés qui interviennent dans la différenciation. Si au niveau de la composition moyenne ces deux groupes sont assez

proches, l'extension spatiale concernée diffère : elle est très restreinte et discontinue pour *t4* alors qu'elle est large et pseudo-continue (à quelques exceptions près) dans le cas de *t3*.

La suite de l'analyse du métaplexion strict nécessite de traiter séparément les hoplexols positifs et négatifs. Il s'agit donc de scinder et de reformuler la table de contingence d'origine en deux tables séparées sur lesquelles se base la suite des traitements.

V.2.4.1.b - Traitements sur les hoplexols positifs (à dominante organique).

La table de contingence utile aux traitements et à la différenciation des groupes d'hoplexols, englobant tous les hoplexols positifs du métaplexion strict, est construite autour de 59 individus décrits par 20 variables. Si les trois bassins versants sont représentés dans cette table, celui de Kamech est largement en sous-effectifs. Ce déséquilibre s'explique par le fait que les hoplexols proches de la surface du sol dans cet espace sont traités avec le métaplexion supérieur. Ces derniers sont en effet essentiellement caractérisés par ces composantes végétales et les composantes minérales telles que les épilites (toutes dimensions confondues) et y sont très peu présentes (ce qui les oppose aux deux autres paysages).

Les traitements réalisés sont plus simples que dans les cas précédents : ils reposent sur une CAH effectuée directement sur les coordonnées des individus projetés sur les 10 premières axes factoriels de l'AFC. Il s'avère en effet, au regard du test de Cattell (figure 5.19, en haut) que ces 10 composantes expliquent la quasi-totalité des phénomènes présents dans l'ensemble défini. Cette technique permet la mise en évidence de 11 groupes d'hoplexols non homogènes quant au nombre d'enceintes de la géosphère qu'ils englobent (figure 5.19, en bas à gauche). Chaque groupe identifié est ensuite décrit en fonction du diagnostic qui pèse *le plus lourd* dans sa différenciation (figure 5.19, en bas à droite).

Sans trop entrer dans le détail de chaque groupe, quelques éléments d'analyse sont à signaler. Pour commencer, le groupe noté *t3* correspond à une *erreur de classification*. En effet, il s'avère que la composition des trois hoplexols qui s'y placent est en fait très proche des hoplexols du groupe *t3*. Ils s'inscrivent d'ailleurs dans les mêmes lieux et traduisent des mêmes dynamiques. Les seules distinctions à signaler apparaissent dans le volume des composantes de la géosphère. De ce fait ces deux groupes sont réunis et sont nommés *t3* dans la typologie.

Les groupes *t5* et *t6* englobant respectivement 15 et 8 hoplexols permettent de réaliser une distinction essentielle dans les milieux boisés d'Abdeladim. En effet, l'ensemble *t5*, caractérisé par une conjonction entre le nanophytion et les macroépilites correspond aux hoplexols du métaplexion strict situé en dehors de l'influence directe des couvertures forestières (soit dans la forêt de Q1, soit dans le piémont de Q2 !). A l'inverse, les hoplexols du groupe *t6* se localisent au pied des arbres et de ce fait se placent sous l'influence directe des frondaisons. Il en résulte des associations où dominent le nécrophytton, le nécro-nanophytion et dans une moindre mesure le stylagé. Ces deux groupes, pourtant très proches spatialement, renvoient à des dynamiques opposées. En effet, si la tendance est à la stabilité et à l'accumulation dans les hoplexols du groupe *t6*, elle est plutôt à l'instabilité et à l'ablation des matériaux dans l'ensemble noté *t5*. Ces différences permettent d'ailleurs de confirmer l'hypothèse mise en évidence dans l'analyse du métaplexion supérieur sous couvert forestier : la continuité ou la discontinuité des frondaisons se répercute sur l'ensemble du milieu naturel et entraîne des différences fondamentales au niveau des flux énergétiques, hydriques ou encore érosifs qui conduisent à la mise en place de géons ou de géotopes opposés à la fois en terme de composition et dynamique du milieu naturel.

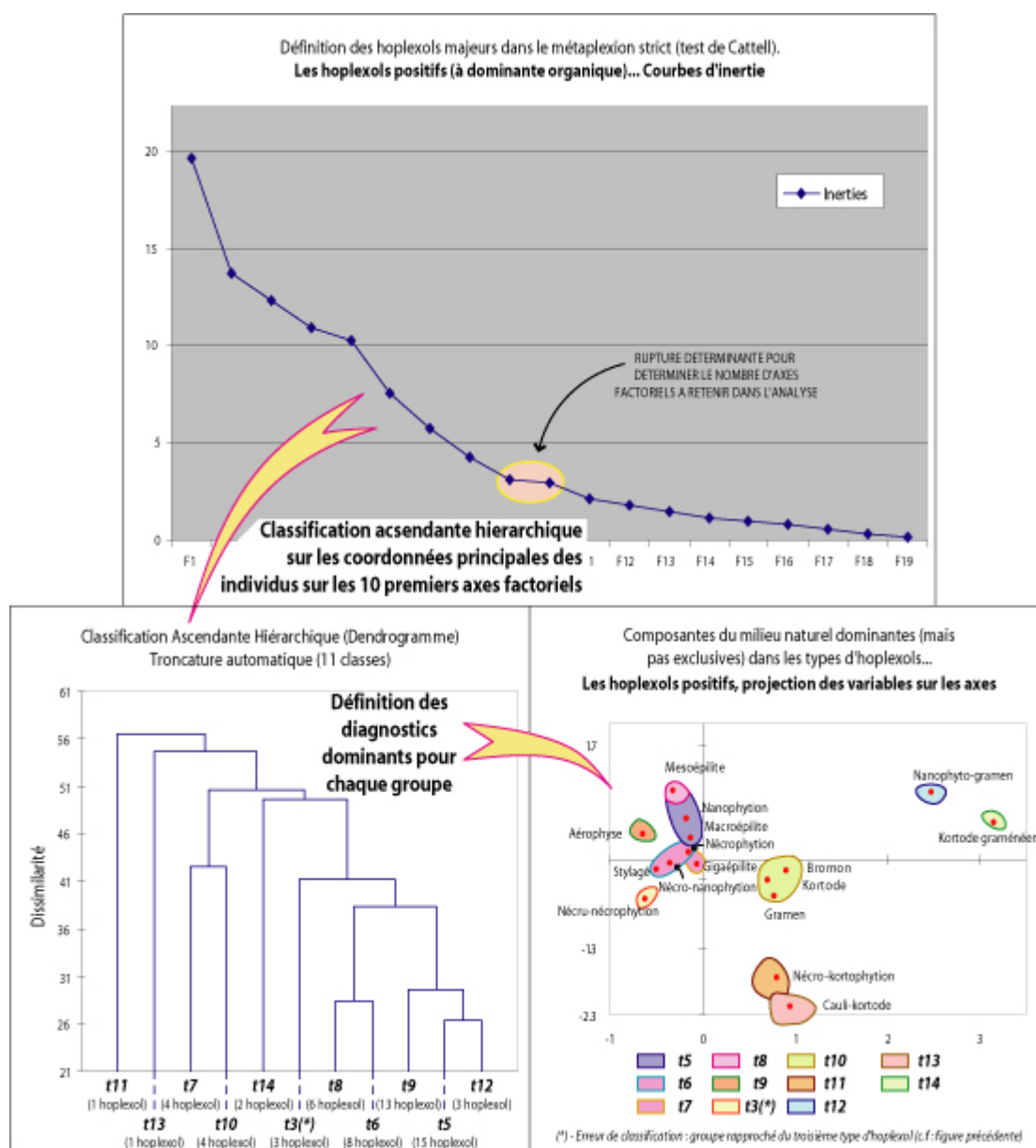


Figure 5.19 : Groupes d'hoplexols dans le métaplexion strict (les hoplexols positifs).

Le groupe t7 aligne quatre hoplexols d'El Hnach déterminés par une majorité de gigaépélite associés à du nanophyton sain c'est-à-dire sans phase de nécro-nanophyton importante. Ces enceintes particulières voient leur origine liée à un phénomène qui a déjà été évoqué précédemment : il s'agit de la destruction du milieu naturel sous l'action anthropique. Dans ce cas, l'action de l'homme sur le milieu naturel est directe et irréversible cette fois. Les justifications liées à ce type de formation et les explications auxquelles elle renvoie sont fournies dans le point suivant de ce paragraphe (V.2.4.2).

Le groupe t8 rassemble 6 hoplexols caractérisés par une majorité d'accumulations minérales de type mésoépélite et, dans une moindre mesure, de type macroépélite. Les hoplexols concernés se localisent toujours sur Abdeladim, au niveau h+1. Ils correspondent là encore à une formation particulière du métaplexion strict sous forêt. Les hoplexols concernés se localisent tous, à une exception près, sur la seconde toposéquence dans un espace caractérisé

par une forte pente qui laisse supposer une dynamique érosive et transitive. Ce groupe est d'ailleurs à rapprocher de l'ensemble noté *t6*.

Le groupe t9 rapproche 13 hoplexols présents à la fois sur El Hnach et Abdeladim. Cet ensemble rassemble plusieurs composantes végétales et minérales de la géosphère, mais toujours en faible quantité. De ce fait, c'est essentiellement la forte proportion du volume d'aérophyse qui permet de le caractériser. Elle connote d'ailleurs une mauvaise protection de la surface du sol face aux agents érosifs.

Les 5 derniers groupes définis rassemblent chacun très peu d'hoplexols, mais ils s'opposent d'une manière générale à tous les autres groupes présentés jusqu'à présent. En effet, les hoplexols s'inscrivant dans les groupes *t10* à *t14* se construisent essentiellement autour d'une association entre des composantes végétales majoritaires et des composantes minérales minoritaires. Ainsi, le kortophytion définit le groupe *t10* (4 hoplexols), le nécro-kortophytion décrit le groupe *t11* (un seul et unique hoplexol), le groupe *t12* rassemble 3 hoplexols autour du nanophyto-gramen, le groupe *t13* présente un seul hoplexol décrit par une association entre cauli-kortode et gramen et enfin le groupe *t14* rassemble deux hoplexols définis par des matériaux tels que le kortode graméen et le nanophyto-kortode. Hormis ces distinctions peu d'éléments vraiment intéressants ressortent de la différenciation de ces derniers groupes. Il semble donc logique qu'ils soient rapprochés les uns des autres pour former ensemble le type codé *TIV* dans la typologie des relevés.

Au final, les traitements sur les hoplexols positifs du métaplexion strict mettent en avant des différences souvent basées sur une double opposition : les hoplexols à dominante minérale, composés essentiellement d'épilites et les hoplexols à dominante organique décrits soit par des accumulations de végétaux morts soit par la base des tiges et les feuilles basses des végétaux vivants. Ces distinctions renvoient souvent à des localisations différentes avec une nette opposition entre les forêts et le reste des paysages mais connotent surtout des dynamiques particulières et originales en fonction du type de milieu qu'elles décrivent. Pour achever les traitements sur le métaplexion strict, il convient maintenant de parler des traitements réalisés sur les hoplexols négatifs.

V.2.4.1.c - Traitements sur les hoplexols négatifs (à dominante minérale).

La table de contingence utile à la différenciation des groupes d'hoplexols situés sous la *surface du sol* dans le métaplexion strict (h-1) est construite autour de 129 individus décrits par 29 variables. L'analyse de cet ensemble est d'une importance remarquable pour la suite de cette étude. Elle permet de réaliser une typologie des *états de la surface du sol* et est, dans ce sens, indispensable au bon déroulement des simulations des flux d'eau et de matières solides transportées réalisées dans la troisième partie de la thèse : la majorité des modèles de simulation se basent en grande partie sur ce paramètre pour déterminer la capacité d'infiltration des sols et en déduire le ruissellement en un lieu donné. Il s'agit donc de définir formellement les groupes et les types d'hoplexols et de préciser clairement la nature et l'organisation des composantes de la géosphère qui s'inscrivent dans chacun d'entre eux. Notons toutefois que la différenciation spatiale des états de la surface du sol ne pose pas de réel problème, mais qu'en revanche leur variabilité temporelle limite quelque peu les interprétations. En effet, si les distinctions latérales peuvent être appréhendées assez facilement à partir des observations réalisées, les changements saisonniers restent mal connus. De ce fait il est pratiquement impossible, lors des simulations, de faire varier l'état de la surface du sol en fonction des changements qu'elle connaît au fil des jours. Sans que cela ne

soit vraiment préjudiciable au niveau des résultats obtenus, puisqu'il est tout de même possible de faire fonctionner correctement le modèle ; cette méconnaissance limite considérablement les interprétations : les valeurs de ruissellement et d'érosion proposées lors des simulations ne s'appliquent que pour le temps T correspondant à l'état de la surface du sol au moment où le relevé est réalisé.

La chaîne de traitements utile à la différenciation des états de la surface du sol se déroule en plusieurs étapes. Une première AFC couplée à une CAH (non représentée par une figure) met en avant trois sous-ensembles distincts. Le premier sous-ensemble rassemble 33 hoplexols (décrits par 20 variables) traduisant une accumulation d'épilites de taille grossière (macro- et méso- essentiellement) inscrits dans la surface du sol, le second sous-ensemble comprend 28 hoplexols (décrits par 22 variables) dans lesquels se retrouvent une grande part de micro-gravelon sableux connotant là encore d'une idée d'accumulation minérale, enfin, le troisième sous-ensemble regroupe 76 hoplexols (décrits par 23 variables) décrits cette fois par une large majorité de dermilites. Bien que quelques hypothèses sur les dynamiques du milieu naturel puissent déjà être formulées, du simple fait de la distinction de ces trois grands types d'état de la surface du sol, il convient de pousser plus avant les distinctions à l'intérieur de chacun de ces sous-ensembles afin d'affiner les conclusions en matière de dynamique de versant (hydriques et érosives) et de définir précisément les types d'état de la surface du sol qui viendront prendre place dans le modèle de simulation des flux.

La première analyse porte sur le sous-ensemble décrit par une majorité d'épilites inclus dans la surface du sol. Les traitements réalisés sur cet ensemble mettent en avant quatre groupes qui se distinguent en fonction de la taille des éléments qui les composent ainsi qu'en fonction de leur densité. Seuls les bassins d'Abdeladim et d'El Hnach sont présents dans cette phase des traitements. Les résultats sont présentés en figure 5.20.

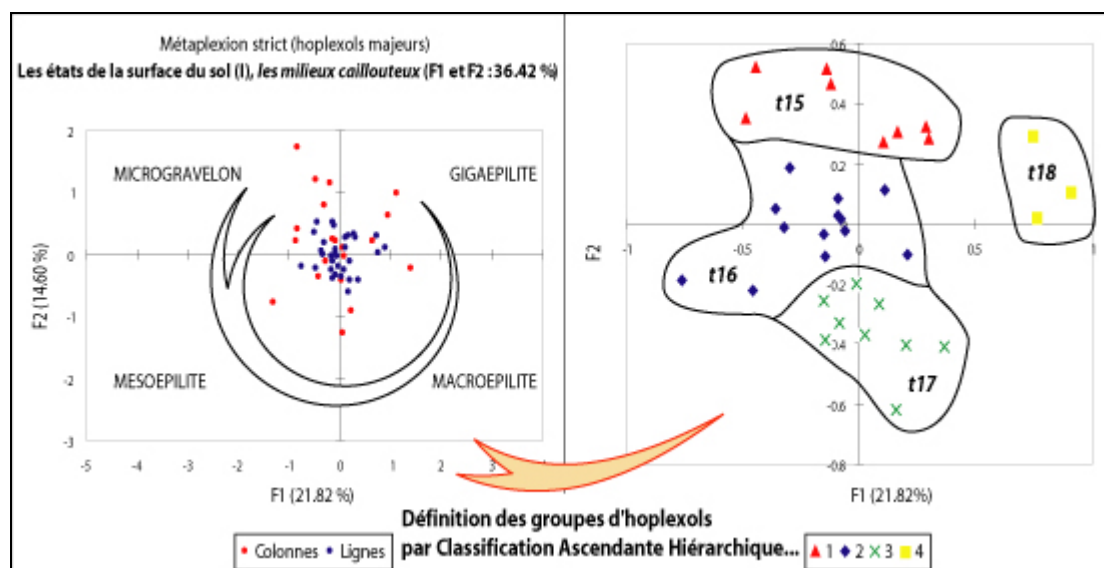


Figure 5.20 : Les groupes d'hoplexols de la surface du sol (hoplexols négatifs), la majorité d'épilites (toutes tailles confondues)...

L'analyse factorielle des correspondances réalisée sur la table de contingence réduite montre des distinctions notoires entre les différentes tailles d'épilites. Ainsi, sur l'axe F1 s'opposent le couple gigaépilite et microgravelon et dans une moindre mesure le couple macroépilite et mésoépilite. Ces deux couples de composantes du milieu naturel s'opposent également sur l'axe F2 si bien qu'au final chacune des différentes tailles d'épilites occupe un quart du

graphique présenté en figure 5.20 (à gauche). Les différences qui ressortent de cette première analyse donnent déjà quelques indications concernant les oppositions et les associations des hoplexols. Ainsi, les enceintes de la géosphère contenant une forte part de gigaépilites correspondent également à ceux qui présentent une très faible part de microépilites et inversement. De même, lorsque la proportion de macroépilite augmente, celle de mésoépilite diminue relativement. Toutefois, la définition de groupes d'hoplexols au sein de cet ensemble n'est pas chose aisée car, à quelques exceptions près, toutes les tailles d'épilites sont présentes dans les ensembles concernés, mais dans des proportions variables. De plus les dynamiques du milieu auxquelles ils renvoient sont globalement similaires. Aussi, il est nécessaire de s'appuyer sur les techniques de classification (CAH) pour inscrire chaque hoplexol dans le groupe duquel il est le plus proche. Du fait de la structure et de l'agencement des composantes de la géosphère dans l'AFC, la classification s'établit sur 4 classes. Les 4 groupes d'hoplexols établis (figure 5.20, à droite) permettent de faire ressortir efficacement les distinctions relevées à l'issue de l'AFC. Toutefois, ces groupes ne permettent pas d'apporter de réelles précisions sur l'organisation du milieu naturel. Les variations observées ne suivent en effet pas un ordre nécessairement logique par rapport à l'agencement du paysage dans lequel ils s'inscrivent. Notons toutefois que les groupes *t15* et *t16*, où tous les types d'épilites sont représentés dans des fractions variables (équipartition pour *t15* et dominance de macro- et méso- pour *t16*) s'inscrivent presque exclusivement sur les forêts et les piémonts d'Abdeladim tandis que les types *t17* et *t18* correspondent à la première et à la troisième séquence El Hnach. A ce titre, ils connotent des dynamiques quelque peu différentes mais sans jamais permettre de réaliser de réelles distinctions. De ce fait, ils sont automatiquement rassemblés dans le même type d'hoplexols lors de la typologie finale.

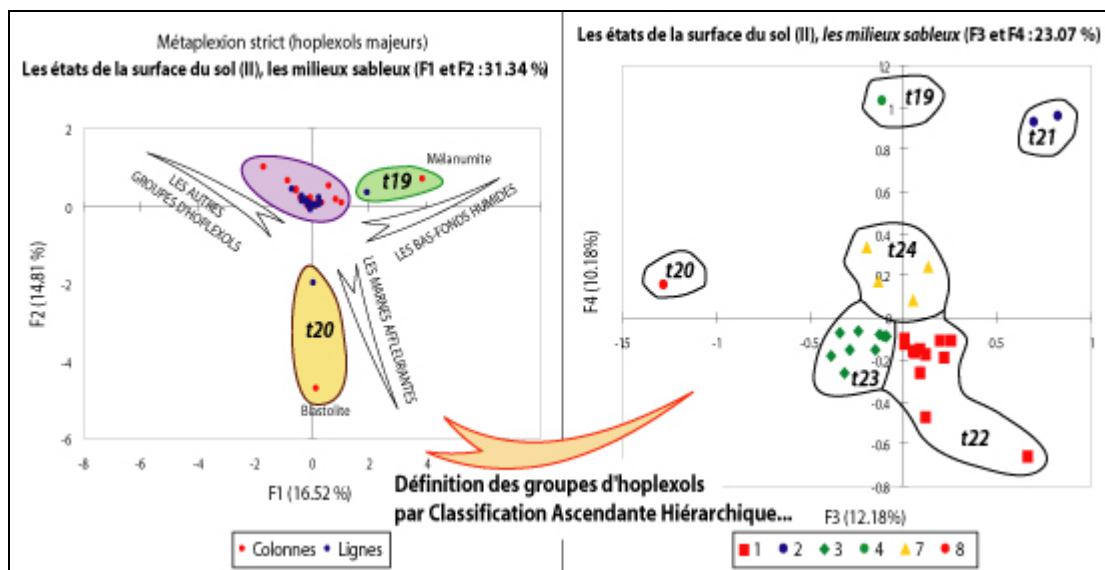


Figure 5.21 : Les groupes d'hoplexols de la surface du sol (hoplexols négatifs), la majorité de microépilites (en association avec d'autres matériaux)

La seconde analyse porte sur le sous-ensemble englobant une large majorité de microépilites inclus dans la surface du sol. Basées sur une table de contingence de petite taille (28 lignes et 22 colonnes), les analyses réalisées (ici encore une AFC puis une CAH sur les coordonnées principales des individus) font ressortir des caractéristiques très intéressantes concernant les dynamiques du milieu naturel. Elles permettent de définir 6 groupes d'hoplexols bien particuliers.

Dès les deux premiers axes factoriels, des éléments intéressants pour l'explication des dynamiques du milieu naturel apparaissent. Ainsi, l'axe F1, construit autour du couple de variables mélanumite / nécrophytion (contribution globale = 74,2 %) permet de distinguer un premier groupe (*t19*) constitué d'un seul hoplexol très particulier qui s'inscrit dans une dynamique déjà évoquée : les bas-fonds humides de Kamech. Ce groupe d'hoplexols s'inscrit parfaitement dans la dynamique du milieu mise en avant avec le groupe *u14* du métaplexion supérieur. Il représente d'ailleurs à lui seul le type noté *TVI* dans la typologie finale.

Le second axe factoriel se construit également autour d'une seule composante de la géosphère : le blastolite (contribution = 89,3 % ; cosinus carré = 93,4 %). Ce matériau correspond à des concrétions ferrugineuses solides souvent oxydées. Leur position *normale* dans le milieu devrait être l'infraplexion, notamment lorsque ce dernier se compose de tanolite marneux. Le fait que ces concrétions se retrouvent en grande quantité à la surface du sol renvoie donc à l'idée d'une anomalie du milieu naturel. Celle-ci est présentée dans le point suivant de ce chapitre.

Les axes F3 et F4 se construisent autour de plusieurs composantes représentant à chaque fois une faible part de contribution absolue ou relative. Ceci met en avant le fait que plusieurs groupes se dégagent sans toutefois apparaître clairement sur le graphique. Il est donc nécessaire d'avoir recours une fois de plus aux Classifications Ascendantes Hiérarchiques pour déduire les ensembles d'hoplexols nécessaires à l'analyse du milieu naturel. La CAH réalisée se base sur les coordonnées principales des individus projetées sur ces deux axes factoriels sans toutefois ôter au préalable les deux groupes précédemment établis. C'est pour cette raison que *t19* et *t20* figurent sur le graphique situé à droite sur la figure 5.21.

L'analyse ainsi réalisée met en avant 6 ensembles d'hoplexols parmi lesquels figurent ceux déduits de l'analyse des axes F1 et F2. La encore les groupes établis permettent de formuler des remarques très intéressantes sur l'organisation du milieu naturel. Ainsi, l'ensemble noté *t21* se construit autour des variables calcinite et phorophytion. Deux hoplexols, situés sur la seconde toposéquence d'El Hnach s'y inscrivent. Une dynamique très particulière du milieu naturel transparaît au travers de ces cas isolés : il s'agit de la concentration et de la précipitation des carbonates dissous pour former un encroûtement calcaire à la surface du sol.

Le second groupe d'hoplexols mis en avant sur les axes factoriels F3 et F4 (groupe noté *t22*) rassemble 11 hoplexols partagés entre le bassin versant d'Abdeladim et celui de Kamech. Les hoplexols concernés comportent une large part de microépilites sableux couplés, dans une moindre mesure avec des mésoépilites et des macroépilites. Toutefois, si ces deux paysages sont réunis par les traitements statistiques, du fait de leur proximité en terme de composition, ils n'en sont pas moins fondamentalement opposés en ce qui concerne les dynamiques responsables de leur mise en place. En effet, sur le paysage d'Abdeladim, ces hoplexols se situent tous dans la partie aval du glacier de Q2 où ils témoignent de dynamiques entafériques c'est-à-dire liées à un arrêt du transport hydrique des matériaux (dans ce cas) et à leur accumulation en *strates* successives. En revanche, les hoplexols du bassin versant de Kamech se situent tous sur des sommets intermédiaires dont la présence s'explique par l'existence d'un affleurement de grès ; à ce titre, ces hoplexols se localisent essentiellement sur les sommets des talus de la rive gauche de Kamech. Ils résultent d'ailleurs de l'altération sur place, de ce dernier. La dynamique qui conduit à la mise en place de ces hoplexols n'est alors plus entaférique mais altéritique, c'est-à-dire liée à l'altération de la roche mère. Ces hoplexols existent donc sans qu'un quelconque mode de transport intervienne. De ce fait, l'action et le cheminement de l'eau qui conduit à ces deux ensembles d'hoplexols sont fondamentalement opposés puisqu'il s'agit d'une dynamique érosive dans un cas et d'une dynamique autonome dans l'autre (l'altération sur place de la roche ne nécessitant pas l'intervention de processus conduisant à apporter des matériaux solides provenant d'un autre point du paysage). Il est

donc indispensable de les séparer pour former deux groupes distincts : $t22$ et $t22'$. Notons toutefois que les hoplexols du groupe $t22'$ se rapprochent nettement, en terme de dynamique de versant du groupe noté $t23$.

Le troisième groupe d'hoplexols ($t23$) mis en évidence par la CAH rassemble 9 hoplexols. Tous sont animés par une dynamique entaférique globale assurant le transport sur de courtes distances et le dépôt des éléments sableux à proximité de la source d'approvisionnement (en général un affleurement de grès). Les hoplexols de ce groupe se localisent tous sur le bassin versant de Kamech, en aval des talus de la rive gauche et des collines de la rive droite, sur des versants accusant une pente relativement forte. De ce fait, il est fortement probable que cet état soit assez instable au niveau particulière (c'est-à-dire que chaque élément ne reste pas indéfiniment à cette place) : il s'agit plus probablement d'un état transitoire plus que d'un dépôt à proprement parler. Toutefois, il s'avère que cet état instable est permanent. Il perdurera tant que la source d'approvisionnement en microgravillons sableux existera. De toutes manières les migrations de particules le long de ces versants semblent relativement lentes du fait de l'importance des couvertures végétales. Ces 9 hoplexols rassemblés par la classification sont comparables aux 6 inscrits dans $t22'$. En effet, même si ces derniers ne se localisent pas directement à proximité de la source d'approvisionnement en microépilites, les dynamiques trans-accumulatives sont globalement identiques en ce qui concerne les processus et la vitesse de migration des particules (même si dans leur cas, le facteur responsable de cette vitesse n'est pas l'importance de la couverture végétale mais la faible inclinaison de la pente). Enfin, le dernier groupe ($t24$) établi à partir de cette série de traitements rassemble 4 hoplexols localisés sur des sommets relatifs du paysage de Kamech c'est-à-dire des points culminants (ou des lignes de crêtes) dominant localement un système topographique donné mais qui subissent également un apport de sédiments provenant de points plus élevés qu'eux. C'est par exemple le cas des ensembles de collines situés en rive gauche du paysage de Kamech (facettes topographiques de type 4). Les hoplexols h-1 de ces espaces subissent là encore une dynamique trans-accumulative superficielle. A ce titre, ces hoplexols viennent s'inscrire dans le même type d'enclavement de la géosphère que $t23$ et $t22'$.

La dernière phase de l'analyse des traitements numériques du métaplexion strict s'intéresse aux hoplexols les plus communs rencontrés sur les trois bassins versants : les hoplexols à majorité de dermite. Les traitements portent sur une table de contingence comportant 76 lignes et 23 variables. Les hoplexols concernés sont très peu contrastés les uns par rapport aux autres, aussi la mise en évidence de groupes particuliers impose nécessairement de réaliser des distinctions très subtiles. Plusieurs séries de tests (qui ne sont pas présentés ici) visant à classer les hoplexols en fonction des matériaux solides qu'ils contiennent (tels que les épilites) n'ont rien montré de satisfaisant. En revanche, il s'avère que c'est la part d'aérophysie contenue dans ces hoplexols qui permet d'obtenir les meilleures distinctions possibles pour classer l'ensemble de ces individus. Lors de l'AFC, cette variable ressort assez loin dans les axes puisqu'elle contribue à hauteur de 37,5 % (cosinus carré = 41,7 %) dans la construction de l'axe F7. Elle doit d'ailleurs être associée à d'autres composantes de la géosphère, notamment le gigagravelon. Les opérations statistiques réalisées résident donc simplement en une CAH (troncature automatique) sur les coordonnées principales des individus projetés sur l'axe F7. Elles permettent la mise en avant de 5 groupes d'hoplexols. Si cette méthode semble un peu *tirée par les cheveux*, les résultats qu'elle propose sont corrects et permettent des distinctions intéressantes en terme de dynamiques hydriques du milieu : la macroporosité de la surface du sol conditionne en grande partie l'infiltration et le ruissellement à la surface de ce dernier (Riou, 1989). Il semble donc vraiment intéressant de se baser sur cette variable pour réaliser la classification des états de la surface du sol. Les 5 groupes d'états de la surface du sol, définis

en fonction du degré d'ouverture de la surface du sol sont détaillés dans le point suivant de ce chapitre.

V.2.4.2 - Les groupes d'hoplexols du métaplexion strict.

Les traitements réalisés sur les hoplexols du métaplexion strict mettent donc en avant 29 ensembles d'hoplexols essentiellement répartis en fonction de leur position dans le milieu naturel : les hoplexols situés juste au dessus de la surface du sol et ceux qui représentent la surface du sol elle-même. Certains matériaux sont propres à chaque ensemble comme par exemple le dermilite que l'on ne retrouve qu'en h-1 ou les composantes végétales qui ne s'inscrivent (du moins dans leur partie qui assure la fonction chlorophyllienne) que dans le h+1 (et éventuellement dans les hoplexols situés au dessus de celui-ci). D'autres en revanche sont communs aux deux ensembles mais renvoient à des dynamiques différentes en fonction de la position qu'ils occupent dans le milieu naturel. Les épilites par exemple, quelque soit leur taille, vont permettre d'appréhender des processus et des phénomènes différents selon qu'ils sont inclus dans la surface du sol ou juste posés sur cette dernière. Ne serait-ce qu'en terme de vitesse de migration, certains peuvent être emportés très rapidement par le ruissellement tandis que d'autres, pourtant équivalents en tout point, resteront figés tant que la gangue de dermilite qui les englobe ne sera pas *érodée*. Il est aussi possible, selon le lieu d'atterrissage des épilites, d'appréhender leur devenir : soit être emportés plus loin vers l'aval lors du prochain événement pluvieux, soit rester sur place et s'inclure progressivement dans la surface du sol du fait de l'apport de sédiments plus fins venant se déposer sur le dermilite en place et former ainsi une *nouvelle épipause*. Il convient donc d'identifier clairement les différents processus en jeu lors de la mise en place des types d'hoplexols car ils sont d'une importance remarquable en terme d'explication de l'organisation et des dynamiques du milieu naturel. Comme pour le métaplexion supérieur, les groupes d'hoplexols sont présentés par rapport au type qu'ils déterminent. De ce fait, leur ordre n'obéit pas à un suivi alphabétique du type *t1*, *t2*, *tn*.

V.2.4.2.a - Lorsque la roche mère affleure en surface.

Le premier groupe d'hoplexols défini (tableau 5.24) présente un état très particulier de la surface du *sol*, très peu rencontré au cours de cette étude : il s'agit de l'affleurement, à l'air libre, d'un régolite gréseux situé à l'amont de la seconde séquence d'Abdeladim. Le seul hoplexol relevé définit le type *T1*. Il est toutefois possible de rattacher à ce premier groupe (et ce premier type) d'autres formations similaires telles que les reliefs de commandement d'El Hnach (où alternent des régolites et des tanolites en affleurement) ou certains affleurements de régolite sur Kamech. En effet, si ces formations ne figurent pas dans les traitements numériques c'est simplement car elles n'ont pas fait l'objet d'un relevé particulier sur le terrain... Les milieux qu'elles caractérisent sont en effet facilement repérables et les dynamiques qui leurs sont associées sont aisément discernables sans avoir nécessairement recours à une identification approfondie sur le terrain. Malgré cette absence, il est possible donc de les rapprocher de cet ensemble sans que cela ne soit préjudiciable dans l'analyse. La connaissance (ou la reconnaissance via traitement sur images aériennes ou satellitaires) des emplacements où ce type d'affleurement apparaît rend d'ailleurs possible leur positionnement dans ce groupe.

Tableau 5.24 : la surface du sol lorsque la roche mère affleure...

<i>TYPE</i>	<i>Groupe</i>	<i>Hoplexols (nombre)</i>	<i>Composition moyenne</i>	<i>Interprétation...</i>
TI	<i>tI</i>	1	(Aérophyse, 4%) hypso-régolite (53%) , dermilite (20%), hypso-macroépilite (10%), hypso-gigaépilite (8%), hypso-mésoépilite (5%).	<i>Position h-1 ; Les affleurements de roche mère à la surface du sol, témoignant d'une disparition complète ou quasi-complète du sol et formant un ensemble homogène très ruisselant</i>

D'un point de vue dynamique, ce premier groupe (et type) d'hoplexols affiche un état stable dans le temps. En effet, il semble difficile que ce type de surface du *sol* puisse être détruit de manière naturelle sur une courte période et ce du simple fait de la cohérence et de la résistance qu'affichent les matériaux qui le composent.

En revanche, cet ensemble connote tout de même l'idée d'une activité érosive très importante qui conduit à une ablation rapide des éléments libres posés à sa surface (qu'il s'agisse d'éléments organiques, minéraux ou organo-minéraux). Les éléments détachés du substrat régolique affleurant (par thermoclastie, altération chimique...) sont rapidement emportés plus loin en aval dans le paysage où ils conditionnent (au moins pour partie, car ils ne sont pas nécessairement les seuls responsables de leur mise en place) la formation des hoplexols dans les lieux qui voient leur dépôt et/ou leur précipitation (amas sableux et concentration des calcaires par exemple). Ainsi, les maigres sols qui parviennent à se développer dans ces ensembles occupent soit les réseaux de diaclases (où ils se développent en profondeur) soit les cuvettes endoréiques liées à l'irrégularité de la surface (ils s'étendent alors en une pellicule relativement fine dont l'extension varie en fonction de la taille de la cuvette) et restent à un stade primaire de la pédogénèse. Ces phénomènes sont en outre accentués par un ruissellement important et par la quasi-absence d'infiltration dans les lieux occupés par ce type d'hoplexols. Il est d'ailleurs important de noter que les hoplexols de ce type, du fait de leur imperméabilité, contribuent théoriquement au ruissellement global du bassin versant. Leur rôle est toutefois limité par leur position dans le milieu (généralement en amont dans les paysages) et par leur faible extension spatiale.

V.2.4.2.b - Les milieux détruits par l'homme de manière irréversible.

Le second groupe d'hoplexols (et le type - *TII* - qui lui est associé) à retenir notre attention (codé *t7* dans la typologie) correspond à un autre particularisme spatial. En effet, les matériaux qui le composent occupent une position qui n'est pas la leur habituellement ou, lorsqu'ils se situent à la bonne place dans le milieu, présentent une organisation singulière qui n'a aucune justification possible dans le domaine naturel... En effet, la quantité importante de gigaépilites ainsi que leur mélange avec du nanophytion et du brunichron est impossible si l'on considère l'Ordre naturel des éléments de la géosphère. Dans les lieux où ces états de la surface du sol apparaissent, devraient se trouver *normalement*, soit un hypso-régolite correspondant au sommet du relief de commandement calcaire (à cheval entre les deux premières séquences d'El Hnach), soit un dermilite correspondant à la couche superficielle d'un sol peu épais, établi sur une croûte calcaire résistante (tassikérite). Or à la place de ces matériaux figurent des pseudos alignements de blocs redressés, anguleux et de taille grossière, mélangés sans raisons apparentes avec des mottes de terre de dimensions importantes (d'ordre décimétrique) et au milieu desquels se développent des plantes vivaces et buissonnantes.

L'explication de cette perturbation du milieu naturel est simple : il s'agit en effet du passage d'un *bulldozer* sur l'amont du glacier de la séquence Q1 et sur l'amont de la deuxième séquence d'El Hnach. Le but était au départ d'implanter des rangées de cactus, dans le cadre des aménagements de la DG-ACTA, destinées à limiter l'érosion des sols et à servir accessoirement de fourrage pour les ovins en période de sécheresse. L'aménagement programmé n'a cependant jamais vu le jour et les seuls éléments témoignant de cette volonté sont une série d'alignements parallèles (et perpendiculaires à l'axe de la plus grande pente) où se mêlent de manière désordonnée des blocs de régolite et de kérîte (macro- et giga-gravélique angumorphe), des mottes de brunichron et des composantes végétales vivaces telles que le nanophyton ou le nanophyto-gramen... Cette destruction de la surface du sol est irréversible, dans le sens où la perturbation engendrée mettra plusieurs milliers d'années (voire dizaines de milliers d'années) à disparaître. Toutefois, si le projet n'a jamais abouti, il est très fortement probable que ces perturbation engendrent sur les flux des modifications importantes qui permettent d'obtenir, dans une certaine mesure, l'effet escompté en matière de limitation du ruissellement et de l'érosion.

Tableau 5.25 : la surface du sol dans un état très perturbé...

TYPE	Groupe	Hoplexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation...
III	t7	4	(Aérophyse, 33%) gigaépilite (27%) , nanophyton (15%) , brunichron (6%), macroépilite (6%), mésoépilite (3%), microépilite (3%), rhizophyse (3%), nanophyto-kortode (2%), cauligé (2%), nécrophyton (1%).	Position h+1 et h-1 ; Les milieux détruits par l'action anthropique dans lesquels figurent des blocs de grande taille alignés perpendiculairement à la ligne de plus grande pente... et mélangés, dans le même ensemble complexe, à des composantes végétales de la géosphère !

Notons enfin l'importance en terme d'occupation spatiale qu'occupe ce type d'état de la surface du sol (puisque malgré tout, c'est bien de cela qu'il s'agit...) : pratiquement tout le sommet et une grande partie des versants (front et revers) du relief de commandement sont concernés par ce phénomène. L'impact sur les dynamiques hydriques est donc considérable puisqu'au lieu d'une surface lisse (qui aurait pu s'apparenter à t1) sur laquelle s'établissaient des écoulements laminaires et rapides se trouve une surface très irrégulière et peu ruisselante qui limite considérablement (en vitesse et en quantité) les flux d'eau. Or cette forme particulière d'organisation du milieu n'est perceptible que sur le terrain : les images satellitales et aériennes ne présentent en effet pas une définition suffisante pour voir cette perturbation. L'explication à laquelle elle renvoie ne fut d'ailleurs possible qu'après maintes réflexions et grâce à l'intervention d'un agriculteur local... De ce fait, analyser un paysage en ne se basant que sur des documents *vis du ciel* limite considérablement les analyses. Dans le cas présent, cela aurait conduit à un grave contresens qui aurait entraîné des erreurs importantes dans les résultats des simulations des flux d'eau à la surface de ce bassin versant... Ouvrons une petite parenthèse : ces quelques lignes soulignent l'importance du travail de terrain lorsqu'on cherche à analyser le milieu naturel en vue de le comprendre ou de l'intégrer dans un modèle de simulation : les données de télédétection sont un support indispensable à la préparation d'une campagne de terrain ou à l'extrapolation des observations ponctuelles collectées sur ce dernier mais elles ne doivent en aucun cas être utilisées seules car elles ne permettent qu'une vision très partielle de ce que l'on cherche à étudier et risquent d'entraîner des erreurs dans les conclusions que l'on pourrait en tirer... refermons maintenant cette parenthèse et passons à la suite !

V.2.4.2.c - Les hoplexols posés sur la surface du sol en milieu forestier.

Le troisième type d'hoplexols se divise en deux grands ensembles notés *TIII* et *TIII'* dans la typologie. Ces deux sous-types sont respectivement définis par 4 et 1 groupes d'hoplexols (*t3*, *t4*, *t6* et *t8* pour *TIII* ; *t5* pour *TIII'*). Quelques éléments d'explication fournis dans le point précédent (VII.2.4.1, figure 5.18 et 7.19) ont déjà permis d'évoquer les circonstances dans lesquelles ces types d'hoplexols se forment et les caractères qui les opposent tant au niveau de la composition qu'au niveau des dynamiques qu'ils mettent en avant. Le tableau 5.26 qui présente une sorte de synthèse des différents groupes d'hoplexols concernés permet d'affiner cette première analyse, d'approfondir les différents phénomènes responsables de leur mise en place et de préciser les processus actuels qu'ils déterminent ou influencent.

Considérons en premier lieu les quatre groupes d'hoplexols rassemblés dans le type *TIII*. Toutes les enceintes de la géosphère qui s'inscrivent dans ces ensembles se placent, à quelques exceptions près, dans les espaces directement protégés par la canopée, que celle-ci soit continue ou discontinue. A ce titre, ils apparaissent sous les types codés *SII* et *UIII* définis dans les paragraphes précédents. Il résulte de cette protection des accumulations de matières organiques (nécrophyton et nécru-nécrophyton) posées sur la surface du sol qui correspondent, le plus souvent, aux parties mortes des feuillages (en l'occurrence des aiguilles de pins) tombées sur le sol. Outre ces composés organiques pas ou peu dégradés figurent aussi dans ces ensembles des accumulations minérales (épilites) de taille et de forme diverses.

Les principales distinctions qui existent entre ces groupes d'hoplexols résident uniquement dans la proportion des matériaux qui les composent : les hoplexols du groupe *t3* affichent une part très importante de matières organiques intactes et en voie de dégradation alors que ceux du groupe *t8* montrent une part plus grande d'accumulations minérales de la taille de graviers. Apparaît ainsi une gradation entre *t3*, *t6* et *t8* allant du plus *organique* au plus *minéral*, sans que toutefois l'un ou l'autre des matériaux définissant ces groupes d'hoplexols ne disparaisse complètement.

L'ensemble des enceintes de la géosphère inscrites dans ce type d'hoplexols connote donc une dynamique très accumulative et renvoie à l'idée d'une certaine stabilité du milieu naturel. Les flux hydriques n'atteignent pas des vitesses suffisantes pour dégager de manière significative les matériaux qui s'entassent au pied des arbres. Notons d'ailleurs que les aiguilles de pins ne se retrouvent jamais en aval ce qui tend à démontrer qu'elles ne quittent pas l'endroit où elles sont tombées. La hiérarchie présentée ci-dessus et qui permet en quelque sorte de classer les groupes d'hoplexols du plus accumulatif au moins accumulatif s'explique du simple fait de l'inclinaison de la pente. Lorsque celle-ci est peu accentuée, les amoncellements sont plus importants (c'est le cas par exemple de *t3*)... Le milieu est aussi plus stable et voit se développer des processus d'humification qui conduisent à une dégradation plus ou moins avancée de ses composantes organiques. En revanche, lorsque celle-ci est plus accentuée les accumulations minérales font leur apparition signalant par la même occasion des dynamiques plus transitives mais toujours très favorables au dépôt et à l'accumulation de matériaux détachés plus en amont sur le versant.

Enfin, une petite exception est à signaler : le groupe d'hoplexols codé *t4* représente le seul cas où des composantes du supraplexion figurent parmi celles du métaplexion strict. Malgré cette particularité, définie par le fait qu'il s'agit de milieux où les arbres n'ont pas encore achevé leur croissance, les deux hoplexols de ce groupe obéissent aux mêmes dynamiques accumulatives que celles signalées précédemment.

Tableau 5.26 : le métaplexion strict (h+1) dans les boisements d'Abdeladim.

TYPE	Groupe	Hoplexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation...
TIII	t3	14	(Aérophyse, 26%), nécrophytion (33%) , nécru-nécrophytion (19%) , dermilite (4%), stylagé (3%), kortode (3%), macroépilite (3%), mésoépilite (3%), nanophyton (2%), nécro-nanophyton (2%), gigaépilite (1%), gramen (1%).	Position h+1 (dominante) et h-1 ; Les milieux forestiers placés sous la protection directe de la canopée (cas majoritaire sur Abdeladim) et milieux des bas-fonds humides de Kamech
	t4	2	(Aérophyse, 64%) coni-prophyse (13%) , nécrophytion (8%) , stylagé (5%), nanophyton (4%), nécro-nanophyton (3%), coni-péné-prophyse (1%), gigaépilite (1%), néo-nanophyton (1%).	Position h+2 ; Les milieux forestiers placés sous la protection directe de la canopée (uniquement sur Abdeladim) ... Hoplexols correspondant plus à des litières hautes présentes lorsque les branchages approchent la surface du sol.
	t6	8	(Aérophyse, 64%), gigaépilite (9%) , macroépilite (6%) , nécrophytion (6%) , stylagé (5%), nécro-nanophyton (4%), kortode (2%), gramen (1%), mésoépilite (1%), nanophyton (1%), néo-nanophyton (1%).	Position h+1 ; Hoplexols des milieux boisés placés sous la protection de la canopée marqués par une équipartition des épilites et du nécrophytion et par une phase très importante de tiges desséchées de romarins.
	t8	6	(Aérophyse, 34%), mésoépilite (26%) , macroépilite (10%) , nécrophytion (9%) , nécro-nanophyton (8%) , stylagé (3%), gigaépilite (3%), kortode (3%), nanophyton (2%), gramen (1%), coni-néophyton (1%).	Position h+1 ; Hoplexols des milieux boisés placés sous la protection de la canopée, marqués par la domination des épilites et couplés à du nécrophytion. Ensemble conditionné par l'inclinaison forte de la pente.
TIII'	t5	17	(Aérophyse, 51%), macroépilite (14%) , nanophyton (8%) , gigaépilite (7%), mésoépilite (6%), nécro-nanophyton (5%), nécrophytion (4%), gramen (2%), kortode (2%), nécru-nécrophytion (1%).	Position h+1 et h+2 (cas rare) ; Les hoplexols forestiers (et des piémonts) placés en dehors de la protection des arbres et marqués par un pavage caillouteux alternant avec des buissons de petite taille (romarin essentiellement)

A l'opposé de ce premier ensemble, mais qui s'inscrit dans les mêmes unités topographiques figurent les hoplexols du groupe t5 (définissant, à lui seul, le groupe TIII'). Ces derniers apparaissent entre les arbres, lorsque ceux-ci n'offrent pas une couverture continue de la surface du sol. Ils figurent aussi au sein de l'unité topographique notée *piémont* (seconde toposéquence d'Abdeladim). Ce groupe d'hoplexols est caractérisé par une conjonction entre une végétation buissonnante basse, vigoureuse et pérenne (nanophyton) répartie de manière aléatoire et par des accumulations minérales posées à la surface du sol (macroépilite notamment) majoritairement répandues entre les nanophytions.

Les dynamiques en jeu dans cet ensemble sont à la fois trans-accumulatives et ablatives. Elles décrivent ainsi un système complexe qui permet à la fois l'amoncellement de matériaux grossiers et le départ de matériaux plus fins et plus facilement transportables. En effet, un témoin marquant de ce phénomène apparaît lorsque l'on observe plus finement la surface du sol : celle-ci n'est pas *lisse* et régulière mais affiche une structure où alternent des micro-butttes au sommet desquelles figurent une touffe de nanophyton, des cuvettes dans lesquelles viennent s'accumuler les épilites et des rigoles au comportement érosif plus classique (ablation accrue et arrêt des processus accumulatifs).

Cette organisation particulière s'explique par le fait que lors d'un évènement pluvieux, le ruissellement en nappe va progressivement dégager les structures pédiques (notamment le dermilite sous-jacent) lorsque celles-ci ne sont pas *retenues* par les systèmes racinaires des

nanophytions. Au fil du temps, les processus érosifs (ablation) répétés finissent par creuser les portions d'espace où la surface du sol n'est pas *protégée* et ne laissent en relief que les secteurs situés au pied des buissons... En outre, la formation de ces cuvettes entraîne aussi un léger *aplatissement* de la pente qui contribue bien entendue à limiter la capacité de transport du ruissellement et donc à entraîner le dépôt des éléments les plus lourds à charrier. Il est enfin possible de supposer qu'à terme cette évolution conduit à la formation de rigoles. En effet, lorsque les cuvettes s'élargissent suffisamment, celles-ci deviennent jointives. Elles favorisent alors la concentration des écoulements et des processus érosifs qui leur sont associés.

La juxtaposition de ces deux types d'hoplexols (TIII et TIII') au sein du même ensemble topographique (ce qui est le cas à l'amont de la première toposéquence d'Abdeladim) mène à la distinction de deux géons (et quatre géotopes) à l'intérieur d'un même segment de paysage (et donc dans un même système de pente). Le segment ainsi défini affiche une organisation complexe marquée par une nette opposition au niveau du comportement des flux d'eau et de matière qu'il génère. Mais outre ce fait, ces structures différentes mettent en avant de manière très significative l'action des arbres sur le cheminement des flux dans le milieu : leur impact est considérable car ce sont eux qui déterminent toutes les organisations sous-jacentes et cela dans un espace très réduit ! Leur présence limite les apports énergétiques verticaux et favorise la mise en place d'entassements nécrophytiques qui définissent le premier géon simple et stable dans le temps (et le géotope qui lui est associé) marqué par une nette tendance accumulative. En revanche, leur absence favorise le développement d'une végétation buissonnante qui mène à la différenciation d'un second géon, complexe cette fois et relativement instable à court et moyen terme, affichant trois géotopes distincts et nettement opposés en terme de dynamique hydrique et érosive. Cette analyse sera présentée de manière plus élaborée dans le chapitre sur les types de relevés et lors de la définition des segments de paysages.

V.2.4.2.d - Les hoplexols juste au dessus de la surface du sol en milieu de friches et de jachères.

Le quatrième type d'hoplexols (TIV) rassemble 6 groupes d'enceintes de la géosphère établis lors des traitements numériques. En tout 24 hoplexols répartis sur les trois bassins versants y prennent place. Tous appartiennent au domaine des friches et des jachères anthropiques.

Les hoplexols qui figurent dans cet ensemble regroupent à la fois des composantes minérales et végétales de la géosphère ainsi qu'une fraction moyenne d'air libre renvoyant à l'idée d'une couverture à peu près homogène de la surface du sol sous-jacente. Leur différenciation résulte essentiellement du fait que les formes de végétation qui les composent sont de natures différentes de l'un à l'autre. Les éléments minéraux ainsi que la part d'air libre qui y figurent ne varient pas de manière suffisamment significative pour connoter des dynamiques vraiment particulières. Il résulte un fractionnement poussé à l'extrême, aboutissant à la définition de groupes rassemblant très peu d'hoplexols, sans que les ensembles établis n'aient de réel sens ni de réelle justification dans le milieu naturel. Ainsi, tous les hoplexols qui apparaissent dans ces ensembles affichent une densité végétale et dans une moindre mesure, minérale qui renvoie à l'idée d'une protection correcte de la surface du sol face aux agents érosifs. Toutefois, leur nature et (ou) les lieux sur lesquels ils se développent rend difficilement appréciable leur impact sur les dynamiques hydriques et érosives. En effet, les hoplexols de ce type sont soumis à de fortes variabilités saisonnières qui peuvent conduire rapidement à leur apparition ou à leur disparition. Malgré cela, il est possible d'avancer l'hypothèse d'une

dynamique transitive pouvant varier de trans-érosif à trans-accumulatif en fonction du système de pente dans laquelle ils s'inscrivent.

Tableau 5.27 : le métaplexion strict (h+1) dans les friches et les jachères.

<i>TYPE</i>	<i>Groupe</i>	<i>Hoplexols (nombre)</i>	<i>Composition moyenne</i>	<i>Interprétation...</i>
TIV	<i>t9</i>	13	(Aérophyse, 52%), mésopépilite (11%) , nanophytion (8%) , kortode (6%) , macroépilite (6%) , gramen (5%), gigaépilite (4%), nécrophytion (2%), nécro-kortode (2%), microépilite (2%), cauligé (1%), nanophyto-kortode (1%).	<i>Position h+1 ; Milieux clairsemés de friches et de jachères présentes sur El Hnach et Abdeladim montrant une dynamique érosive et/ou transitive accrue par la faible densité des couvertures végétales (surface du sol peu protégée).</i>
	<i>t10</i>	4	(Aérophyse, 26%), kortode (31%) , macroépilite (14%) , gramen (10%) , mésopépilite (6%) , gigaépilite (5%), nanophyto-kortode (3%), cauli-kortode (2%), bromon (1%), cauligé (1%).	<i>Position h+1 ; Milieux de friches et de jachères présentes sur les trois bassins versants affichant une bonne protection de la surface du sol du fait de l'importance des couvertures végétales et minérales... Dynamique trans-accumulative probable.</i>
	<i>t11</i>	1	(Aérophyse, 54%) nécro-kortode (15%) , gramen (12%) , microépilite (7%) , nécrophytion (4%), macroépilite (3%), caryophytion (2%), bromon (1%), mésopépilite (1%), concholite (1%).	<i>Position h+1 ; Milieu de jachère clairsemée sur Abdeladim caractérisés par une importante phase de nécro-kortode qui distingue cet état particulier au sein de l'ensemble auquel il appartient...</i>
	<i>t12</i>	3	(Aérophyse, 36%), nanophyto-gramen (22%) , mésopépilite (10%), nanophytion (8%), macroépilite (8%), gigaépilite (4%), microépilite (4%), kortode (3%), cauligé (1%), gramen (1%), nécro-gramen (1%), nécrophytion (1%).	<i>Position h+1 ; Milieux de friches sur El Hnach, conditionnée par une répartition éparse de nanophyto-gramen (de type Alfa...) conduisant à un micro-modèle en buttes de la surface du sol.</i>
	<i>t13</i>	1	(Aérophyse, 43%), gramen (17%) , cauli-kortode (16%) , nanophytion (5%), macroépilite (5%), gigaépilite (4%), cauligé (3%).	<i>Position h+1 ; Milieu de friche sur El Hnach peu caillouteux où la surface du sol est presque entièrement recouverte par de la végétation herbacée</i>
	<i>t14</i>	2	(Aérophyse, 39%) nanophyto-kortode (16%) , kortode (12%) , nécrophytion (12%) , gramen (11%), nanophytion (5%), kortode graméen (2%), gigaépilite (2%), nécro-nécrophytion (1%).	<i>Position h+1 ; Milieux de friches peu caillouteux sur Kamech où la surface du sol est presque entièrement recouverte par de la végétation herbacée pérenne... Il s'agit là d'une probable erreur de placement dans cet hoplexion lors de la différenciation des hoplexols sur le terrain.</i>

En outre, il est aussi important de signaler que ces différents groupes sont à rapprocher des hoplexols de friches et de jachères du métaplexion supérieur inscrits dans le type UV. En effet, ces derniers leur sont très souvent proches spatialement et ils complètent les descriptions réalisées dans le métaplexion supérieur lorsque celui-ci ne descend pas jusqu'à la surface du sol... La distinction qui est réalisée ici (lors de la phase de terrain), entre le métaplexion supérieur et le métaplexion strict réside uniquement dans le fait que certains hoplexols présentent une faible part de macroépilites tandis que les autres n'en comprennent pas. Celle-ci semble d'ailleurs quelque peu désuète car il n'est vraiment pas évident que la présence ou l'absence de ce type de matériaux entraîne de réelles modifications sur les dynamiques globales du milieu naturel.

V.2.4.2.e - Un pavage caillouteux inclus dans la surface du sol.

Le cinquième type présenté (noté TV) rassemble 33 hoplexols répartis entre les reliefs d'Abdeladim et d'El Hnach. Ces enceintes se répartissent dans 4 groupes (t15 à t18) à peu près homogènes et différenciés en fonction de la taille des éléments qu'ils renferment.

Tableau 5.28 : Surface du sol et pavage caillouteux (métaplexion strict, h-1).

TYPE	Groupe	Hoplexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation ...
TV	t15	8	(Dermilite, 45%) mésopélite (11%) , macroépélite (8%), Aérophyse (8%), microgravelon (7%), gigaépélite (7%), nécrophytion (4%), cauligé (4%), stylagé (3%), nécru-nécrophytion (1%), rhizophyse (1%), rhizagé (1%).	<i>Position h-1 ; Hoplexols de la surface du sol, présentant un pavage caillouteux important où figurent des fractions variables d'épilites de taille diverses... Si des distinctions en fonction de la localisation peuvent être formulées (t15 et t16 présents sur les jebels et les piémonts d'Abdeladim, t17 et t18 sur les reliefs d'El Hnach, généralement à proximité des affleurements.), aucune organisation logique ne semble animer ces différents groupes d'hoplexols.</i>
	t16	13	(Dermilite, 46%) mésopélite (17%) , macroépélite (12%) , microgravelon (9%), aérophyse (6%), nécrophytion (4%), gigaépélite (3%), cauligé (2%), stylagé (1%).	
	t17	9	(Dermilite, 51%) macroépélite (20%) , mésopélite (16%) , aérophyse (7%), microgravelon (2%), nécrophytion (2%), rhizophyse (2%).	
	t18	3	(Dermilite, 49%) gigaépélite (17%) , macroépélite (11%), Aérophyse (8%), mésopélite (8%), rhizophyse (6%), concholite (1%).	

Aucune organisation véritablement logique, si ce n'est une légère gradation (*du plus petit au plus gros*) sans conséquences dynamiques transcendantes, ne transparaît à l'intérieur de ces différents groupes. En effet, les quelques distinctions qui apparaissent en terme de localisation ne semblent pas liées à des contraintes particulières ni d'un point de vue topographique, ni d'un point de vue hydrique et érosif. Le principal problème qui se pose vis-à-vis de ce type est de connaître l'origine d'un tel pavage dans ce contexte topographique. Le système de pente dans lequel il s'inscrit ne semble en effet pas propice à la mise en place d'une telle structure. Une hypothèse peut cependant être formulée : ce type de surface du sol résulterait d'une mise en place au cours d'une phase climatique propice au développement d'une végétation plus dense. A l'heure actuelle les structures établies seraient en voie de démantèlement. Précisons quelque peu ce propos. Une végétation plus dense, au moins au niveau du métaplexion supérieur contribue à freiner, voire à stopper complètement, la migration des sédiments (toute taille confondue) érodés en amont sur le versant. Il est alors très fortement probable que des épilites de tailles diverses, issus de l'érosion des affleurements apparaissant plus haut dans le paysage, se soient retrouvés piégés dans cette végétation et aient été peu à peu recouverts par des particules argileuses et limoneuses, elles mêmes piégées par cette végétation. Il en résulte des entassements successifs de sols colluviaux plus ou moins épais (selon la durée de la période propice à leur mise en place) composés en grande partie de gravelons. En l'état actuel des choses, le climat étant peu favorable au maintien d'une telle couverture protectrice, ces accumulations anciennes sont peu à peu exhumées. Les sédiments fins, emportés petit à petit

par le ruissellement en nappe, permettent la remontée progressive des graviers et des cailloux prisonniers dans le sol vers la surface de ce dernier. Lorsque le processus est complet (ce qui est d'ailleurs bien souvent le cas), ces éléments graveleux se retrouvent posés à la surface du sol et forment un pavage mobilisable et pouvant migrer le long du versant, plus ou moins rapidement et sur des distances très variables en fonction de l'intensité de l'épisode érosif. Si les processus ne sont pas achevés (ce qui est aussi le cas) alors ces cailloux se retrouvent à l'affleurement, visibles en surface mais toujours prisonniers d'une gangue de dermite qui empêche leur mobilisation. Le résultat de cette succession de processus correspondrait bien à ce qu'il nous est donné d'observer sur ces versants. Les structures visibles actuellement seraient donc héritées d'une époque plus végétalisée et seraient peu à peu démantelées par le ruissellement en nappe et l'érosion qu'il induit.

Quoi qu'il en soit, force est de constater que ce type de formation favorise actuellement le ruissellement. En effet, les surfaces concernées ne permettent qu'une infiltration très limitée de l'eau : les cailloux ne constituent pas des complexes absorbants et s'approchent d'une perméabilité zéro. Vu leur quantité considérable (environ 50 % du volume total des hoplexols) il est donc possible d'affirmer qu'ils entraînent un ruissellement en nappe très important qui contribue par là même au ruissellement global aux limites du bassin versant. Notons d'ailleurs que cette caractéristique favorise l'ablation sélective en emportant les sédiments fins plus en aval, ce qui contribue à perpétuer le phénomène de dégagement des cailloux superficiels et de remontée en surface de ceux encore prisonniers du sol. En revanche, cet état de la surface du sol limite le détachement des particules les plus fines par effet de *splash*, l'impact des gouttes de pluie étant largement réduit du fait de la présence d'éléments très résistants.

Le type ainsi formé joue donc un rôle essentiel dans les processus hydriques et érosifs des paysages dans lesquels il s'inscrit. Toutefois, l'analyse globale et la compréhension de ces dynamiques ne peut se faire qu'en tenant compte d'une part, de la totalité du profil vertical et notamment de ce qui se situe au dessus de la surface du sol et d'autre part des arrangements latéraux dans le sens de la plus grande pente car il n'est pas obligé que les flux générés ici ne soient pas captés, totalement ou partiellement, par des structures et des organisations situées plus en aval.

V.2.4.2.f - Les dynamiques particulières de la surface du sol.

Le sixième type d'hoplexol (TVI) présenté dans ce paragraphe n'inclut qu'un seul groupe (*t19*) ne rassemblant lui-même qu'un seul hoplexol (tableau 5.29). Il correspond de ce fait à une dynamique tout à fait singulière qui fait depuis le début de l'analyse l'objet d'une description et d'une interprétation unique : il s'agit des bas-fonds humides de Kamech. Deux spécificités caractérisent cette organisation et permettent de définir ses dynamiques. Tout d'abord, la forte part de microgravelon dénote d'une tendance à l'accumulation globale des matériaux érodés plus en amont. Ceci n'est toutefois pas réservé à cette entité. En effet, de nombreuses accumulations de sables apparaissent dans les paysages sans pour autant être rattachées à cet ensemble. En revanche les fortes teneurs en nécrophyton et surtout en mélanumite laissent transparaître ses particularités les plus flagrantes : ce dernier matériau ne peut-être créé qu'en présence d'eau. En effet, il correspond à un stade très avancé de la dégradation des végétaux morts (le nécrophyton) et présente une structure fondue qui pourrait s'apparenter à de la vase. L'odeur caractéristique des végétaux dégradés en présence d'une eau stagnante conforte d'ailleurs cette idée. Un contexte topographique, géologique et géomorphologique favorable à la rétention de l'eau dans les sols, sur des périodes suffisamment longues, doit donc exister pour permettre à ce type de matériau de se former. Or

ce contexte particulier n'existe que dans de très rares cas et renvoie nécessairement à des cheminements de l'eau dans le milieu qui le distingue des autres formes d'accumulations sableuses et impose son intégration dans un type différent...

Tableau 5.29 : la surface du sol des bas-fonds humides de Kamech.

TYPE	Groupe	Hoplexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation...
TVI	t19	1	(Dermilite, 46%), mélanumite (17%) , microgravelon (15%) , nécrophyton (12%), rhizophyse (7%), aérophyse (3%).	<i>Position h-1 ; Les bas-fonds humides de Kamech... dynamique accumulative généralisée et tendance à la dégradation avancée des végétaux morts sous l'action de l'eau stagnante...</i>

Les questions relatives à la mise en place de la structure ne sont pas abordées ici car elles nécessitent, pour apporter des éléments de réponse pertinents, de s'intéresser au système de pente et au contexte géologique dans lequel elle s'inscrit. Toutefois, il est d'ores et déjà possible de préciser que cet ensemble connaît une dynamique fortement accumulative. En effet, du fait de l'importante végétation qui y prend place et de l'aplatissement de la pente en ces lieux les eaux de surface subissent un ralentissement notoire qui se traduit inéluctablement par une perte de leur capacité de transport. Les sédiments en transit cessent donc leur progression au niveau de ces unités et il en résulte des accumulations de matières minérales qui tendent à s'épaissir. Outre ce fait, il semble aussi que l'eau s'y infiltre de manière préférentielle et que l'absence de drainage hypodermique, du fait de la présence d'un affleurement de grès imperméable, directement en aval, conduit à un état de saturation des sols. Cette couche imperméable entraîne d'ailleurs la stagnation de l'eau dans les sols et participe au développement des processus de dégradation et de transformation des végétaux morts.

Le fait que ces particularités n'aient été rencontrées qu'une seule fois sur l'ensemble des relevés n'est en rien problématique dans une optique d'extrapolation. En effet, les secteurs présentant des formes similaires à ce relevé sont bien connus et facilement repérables sur les photos aériennes et les images satellitales.

Le tableau 5.30 permet de définir le **septième type d'hoplexol (TVII)**, dans lequel un seul groupe composé d'un hoplexol unique prend place. Avec ce type apparaît une autre forme particulière de la surface du sol où se mêlent des éléments issus du transport hydrique, des concrétions ferrugineuses ainsi que quelques *écailles* de marnes non altérées.

Par sa composition, ce septième type d'hoplexol renvoie à des dynamiques complexes, qui apparaissent dans un contexte topographique et géologique bien particulier. En effet, les accumulations de microgravelons sableux se justifient facilement par la présence, à proximité, d'un affleurement gréseux permettant l'apport et le dépôt de ce matériau. Toutefois, du fait du système de pente dans lequel ce type d'hoplexol s'inscrit il est plus probable que l'on soit dans une dynamique transitive et que les particules ne fassent que passer avant d'être emportés plus en aval lors du prochain épisode érosif.

A l'inverse de ces processus, les concrétions ferrugineuses (et les morceaux de marnes non altérées mais détachées de l'ensemble auquel elles appartiennent normalement) connotent une dynamique fortement érosive. En effet, ce matériau se forme lors de la mise en place de la roche mère et correspond à la migration, à la concentration et à l'induration des oxydes de fer qu'elle contient. Il appartient donc théoriquement au domaine de l'infraplexion notamment

lorsqu'on est en présence d'un tanolite marneux. Le fait que ces concrétions se trouvent en surface témoigne donc d'un *dysfonctionnement* du milieu naturel. La seule explication permettant de justifier leur présence est donc l'action érosive qui conduit à dégager en grande partie les sols pour faire remonter la roche mère à l'affleurement. D'ailleurs, l'apparition de ce matériau en surface se produit très fréquemment dans les secteurs de ravinements (type badlands). Toutefois, dans le cas qui nous concerne, aucun ravinement n'est constaté, en revanche il est vrai que le système de pente dans lequel l'unique relevé qui constitue ce groupe s'inscrit (le versant d'une colline de la rive droite du bassin versant de Kamech) présente un très faible développement au niveau du métaplexion inférieur ce qui conduit inéluctablement à porter le tanolite marneux du substrat à affleurer. Quoi qu'il en soit, la présence de ce matériau en cette position et en ce lieu dans le paysage, traduit une dynamique très érosive.

Tableau 5.30 : la surface du sol sur un versant pentu et fortement soumis à l'érosion.

<i>TYPE</i>	<i>Groupe</i>	<i>Hoplexols (nombre)</i>	<i>Composition moyenne</i>	<i>Interprétation</i>
TVII	<i>t20</i>	1	(Dermilite, 51%) microgravelon (23%) , blastolite (17%) , aérophyse (5%), nécrophytion (2%), alté-tanolite (1%), rhizophyse (1%).	<i>Position h-1 ; Milieux de badlands et de talus subissant une ablation importante Décapage généralisé du sol et affleurement de tanolite à proximité de l'épipause. Dynamique érosive à trans-érosive en proximité d'un affleurement de roche dure.</i>

Il existe donc un antagonisme dynamique à l'intérieur de ce type avec d'un côté un caractère plutôt transitif et de l'autre une action érosive très marquée. De ce fait, il est probable que ce soit la seconde caractéristique qui l'emporte sur la première et que les microgravelons sableux ne restent qu'un temps très limité en ces lieux. Ce type est donc associé à une dynamique trans-érosive pour marquée par le caractère temporaire des accumulations qui se mettent en place et qui dépendent plus d'une rupture momentanée de la capacité de transport de l'eau que des conditions topographiques nécessaires à la mise en place d'une réelle dynamique accumulative. Du point de vue hydrique, le ruissellement à la surface du sol se fait de manière diffuse même si quelques rigoles peu marquées apparaissent (celles-ci pourraient toutefois conduire, si la dynamique érosive actuelle se perpétue ou s'accroît, à la formation d'un ravinement plus important). La faible profondeur des sols et la macroporosité limitée de l'ensemble doivent d'ailleurs contribuer à l'accroître fortement.

Le huitième type d'hoplexol établi à la suite des traitements numériques (tableau 5.31) correspond une nouvelle fois à une particularité rarement rencontrée dans le milieu naturel. Seulement deux hoplexols sur la seconde toposéquence d'El Hnach constituent l'unique groupe qui y figure. Toutefois, là encore, ce type met en avant une dynamique très particulière qui fait ressortir, même si elle est très limitée spatialement (et donc négligeable en terme de contribution à la dynamique globale du paysage), des éléments dont il est important d'en tenir compte pour comprendre les dynamiques hydriques globales et le devenir des flux dans une partie du paysage d'El Hnach.

La teneur importante en microépilites kéritiques et en calcinite montre un colmatage progressif des pores du dermilite et sa transformation en un ensemble cohérent et compact qui laisse penser à la néo-formation d'une croûte calcaire (ou du moins un encroûtement *ramolli*) à la surface du sol. Ce phénomène est très probablement lié à des phases d'hydromorphie temporaires permettant la dissolution et la migration des carbonates et à des phases plus

sèches favorisant le dépôt en ensembles continus et cohérents. Ce processus est exacerbé par le fait qu'on se situe sur un versant nord, donc plus favorable au maintien de l'eau dans les sols durant une période suffisante pour permettre la migration des éléments. De plus, le fait que l'on se situe sur le revers géologique du relief de commandement calcaire joue également un rôle dans la mise en place de cette structure et ce pour deux raisons principales.

Tableau 5.31 : la surface du sol armée par des concentrations de calcaires.

<i>TYPE</i>	<i>Groupe</i>	<i>Hoplexols (nombre)</i>	<i>Composition moyenne</i>	<i>Interprétation...</i>
<i>TVIII</i>	<i>t21</i>	2	(Dermilite, 33%), microgravelon (18%) , phorophytion (15%) , calcinite (10%) , mésoépilite (9%), Aérophyse (8%), macroépilite (7%).	<i>Position h-1 ; milieux où le dermilite s'arme d'une gangue calcaire qui tend à accroître sa cohérence et lui permet de résister aux agents érosifs... la dynamique est accumulative.</i>

Tout d'abord, la structure géologique de l'ensemble, constitué par une alternance de couches marneuses et calcaires, est favorable à une lente circulation souterraine de l'eau précipitée sur le front des couches (et donc sur le versant sud...). Il est alors possible que ce cheminement particulier lui laisse le temps de se charger considérablement en carbonates qu'elle pourra, à loisir, déposer lors de son arrivée en surface et de son évaporation.

Ensuite, les sols qui se développent dans cet ensemble ne mesurent pas plus d'une dizaine de centimètres d'épaisseur, ce qui permet d'atteindre rapidement des concentrations nécessaires à la mise en place d'un encroûtement superficiel que seul l'écoulement de surface, trop rapide, ne permettrait pas. En effet, si l'eau devait suivre un cheminement long et complexe dans les sols, il est très probable qu'elle se déchargerait des carbonates qu'elle est susceptible de contenir, lors de la remontée capillaire liée à l'évaporation, bien avant qu'elle n'atteigne la surface du sol. Notons d'ailleurs, pour *confirmer* ce propos, que ce phénomène n'est jamais observé sur le glacis fossilisé de Q1 : l'épaisseur des sols est telle que l'eau souterraine *remontante* n'est plus suffisamment chargée lorsqu'elle arrive à la surface du sol pour permettre la formation d'une croûte superficielle. Quoi qu'il en soit, la mise en place d'une telle structure à la surface du sol témoigne d'une grande stabilité du milieu (la fixation de la croûte par des formes de végétation pionnières - le phorophytion- confirme cette hypothèse). Toutefois, si le laps de temps utile à la mise en place d'une croûte calcaire superficielle est assez court comparé à celui utile à la formation d'une croûte épaisse et profonde (telle qu'il est possible de l'observer sur Q1), il est nécessaire que le système reste en place pendant quelques dizaines ou même quelques centaines d'années avant que cela ne se produise... Il est entendu qu'il ne s'agit là que d'une hypothèse formulée à partir de quelques observations seulement, le long de la toposéquence concernée mais aussi de part et d'autre de celle-ci, sur l'ensemble du revers du relief de commandement. Elle ne semble d'ailleurs s'appliquer qu'en ces lieux, les croûtes calcaires profondes de Q1 renvoyant l'explication de leur origine à des processus similaires sur le principe mais très différents dans l'absolu.

Ainsi, malgré leur apparente rareté, les hoplexols de ce groupe renvoient à des cheminements particuliers de l'eau dont il est fondamental de tenir compte lors de la mise en place des modèles spatiaux explicatifs. En effet, les zones contributives qu'ils mettent en évidence s'étendent bien au-delà des quelques points d'observations permettant la définition de ce type d'hoplexols : l'ensemble des reliefs de commandement d'El Hnach sont concernés par ces phénomènes. Compte tenu de la superficie qu'ils occupent au sein de cet espace, il est aisé de comprendre l'ampleur de ce phénomène. Toutefois, la question du cheminement de l'eau dans

le paysage ne peut être traitée pour l'instant car elle implique bien évidemment de connaître l'ensemble des organisations verticales ainsi que leur arrangement latéral avant de pouvoir l'aborder... Elle apparaîtra donc avec la synthèse finale réalisée dans les chapitres suivants. En l'état actuel des choses, seules quelques pistes d'analyse utiles à la compréhension du milieu naturel et de ses dynamiques ne peuvent être formulées pour l'instant...

Le dernier type particulier qui ressort des analyses (TIX), présenté dans le tableau 5.32, rassemble 5 hoplexols qui s'inscrivent dans un unique groupe (*t22*). Ces quelques enceintes de la géosphère mettent en avant une dynamique qui n'a pas été abordée précédemment et qui dépend d'une localisation très particulière : il s'agit de la couche superficielle du sol qui apparaît au *sommet* d'un ensemble d'altération sur un substrat gréseux.

Tableau 5.32 : la surface du sol en présence d'une altération avancée des affleurements gréseux.

<i>TYPE</i>	<i>Groupe</i>	<i>Hoplexols (nombre)</i>	<i>Composition moyenne</i>	<i>Interprétation...</i>
TIX	<i>t22</i>	5	(Dermilite, 54%), microgravelon (24%) , aérophyse (7%), mésoépilite (4%), rhizophyse (4%), macroépilite (3%), rhizagé (2%), nécrophytion (2%), gigaépilite (1%), hypso-régolite (1%), phorophyton (1%).	<i>Position h-1 ; les hoplexols du domaine altéritique, localisés à l'aplomb d'affleurements gréseux sur Kamech, la dynamique de la pédogenèse conduit à laisser en place un amas sableux peu cohérent qui se retrouve sur tout le profil. Les dynamiques sont autonomes à faiblement érosives.</i>

La forte part de microgravelons sableux tendrait à rapprocher les hoplexols de ce type de ceux formés dans le cadre d'une dynamique entaférique telle qu'il est possible de les observer en aval du glacier d'Abdeladim. Toutefois, l'emplacement de ces hoplexols et les relevés auxquels ils appartiennent ne permet aucune confusion quant à leur origine : placés en position dominante dans le milieu (ils figurent en effet toujours à l'amont d'un talus structuré par un affleurement gréseux) ils ne peuvent en aucun cas subir de dépôts de sédiments provenant de l'amont. Ils sont donc formés sur place, sans qu'intervienne un quelconque apport extérieur.

Du point de vue de leur dynamique récente, les hoplexols représentatifs de cet état de la surface du sol ne semblent pas subir outre mesure, et ce en dépit de leur position dans le milieu naturel, l'action érosive de l'eau (nous parlons ici de l'érosion hydrique induite par le ruissellement superficiel) : les processus d'altération responsables de leur mise en place sont des processus très lents, surtout dans le contexte climatique actuel. En effet, un tel *complexe d'altération* ne peut se faire qu'en présence d'eau (permettant de véhiculer des agents chimiques actifs tels que l'oxygène, le dioxyde de carbone...) sous un climat chaud. Or, si la contrainte de la température est respectée, celle de l'eau l'est moins. Les conditions climatiques sont en effet plus propices au démantèlement de la structure qu'à son développement. En effet, l'ensemble affiche une épaisseur remarquable ce qui permet de penser que cet état de la surface du *sol* ne subit pas outre mesure l'action des agents érosifs atmosphériques. Si les dépôts de sédiments existent, ils ne sont pas réellement conséquents : l'eau précipitée en ces lieux s'infiltre modérément à cause d'une porosité relativement faible mais le ruissellement induit n'atteint pas une vitesse suffisante pour permettre une forte érosion du fait de la faiblesse et de la courte longueur de la pente (sommets étroits et plats des talus...). La dynamique de l'ensemble peut alors être qualifiée d'autonome à faiblement érosive bien que peu infiltrante.

Les *types uniques* de surface du sol (dans le sens où ils correspondent souvent à un ou quelques hoplexols seulement) qui viennent d'être présentés renvoient à des dynamiques toujours singulières du milieu naturel dont il est important de tenir compte pour comprendre son organisation et suggérer les principes de leur mise en place. Toutefois, présenter des dynamiques de formation d'un type particulier de relevé en se basant uniquement sur la surface du sol n'est pas facile. L'exemple du type TIX est d'ailleurs représentatif de ce problème : ce qu'il est donné de voir en surface ne reflète pas vraiment les phénomènes de formation de l'ensemble et il est impératif de s'interroger sur ce qui intervient au dessous de cette interface pour les comprendre. Les états de la surface du sol ainsi présentés sont la résultante de *processus rares* et souvent complexes qui interviennent au niveau de l'ensemble du relevé et parfois même d'un contexte géomorphologique plus large. Mais il est quand même nécessaire de justifier leur présence en présentant les dynamiques globales dans lesquelles ils s'inscrivent afin de pouvoir expliquer les raisons de leur présence et celles de leur différenciation typologique... Il est d'ailleurs certain qu'un grand nombre d'incompréhensions subsistent pour l'instant. Elles sont simplement dues au fait que l'analyse approfondie des dynamiques du milieu naturel ne peut être réalisée à la seule lecture de la surface du sol (ou d'un hoplexion donné). De ce fait, seules quelques pistes d'interprétation peuvent être fournies pour l'instant. L'analyse complète de ces milieux particuliers (et des autres aussi d'ailleurs) n'étant possible qu'une fois les relevés reconstitués et les segments de paysage définis, celle-ci est réalisée ultérieurement...

V.2.4.2.g - La surface du sol dans un contexte colluvial à majorité de microgravelons sableux.

Le dixième type d'état de la surface du sol (TX) rassemble trois groupes d'hoplexols marqués par des dynamiques qui conduisent à l'accumulation de microgravelons sableux dans le dermilite. A ce titre, seuls les paysages de Kamech et d'Abdeladim sont représentés. En effet ce sont les seuls à présenter des affleurements gréseux dont la dégradation mécanique et chimique permet la libération des sables mobilisés par l'érosion hydrique et transportés en aval par le ruissellement.

Les caractéristiques globales de chaque groupe sont similaires. En effet, les différents hoplexols qui y prennent place rassemblent les mêmes proportions de dermilite et de sable et affichent une macroporosité visible (aérophyse) du même ordre de grandeur. A ce titre ils correspondent d'ailleurs à des végétations fermées en apparence et donc peu propices à l'infiltration. Les processus responsables de leur mise en place sont également identiques : dans tous les cas les sédiments ont connu une mobilisation du fait du ruissellement et se sont déposés en ces lieux à la suite d'une diminution de la capacité de transport de la nappe d'eau en mouvement.

Toutefois l'explication de cet arrêt du transport diffère d'un groupe à l'autre. En effet, si les ensemble *t22'* et *t24* sont liés à une diminution de l'inclinaison de la pente, le groupe *t23* se forme du fait d'une importante couverture végétale qui assure un rôle de limitation de transferts de matière. D'ailleurs dans le cas de *t23* et contrairement aux deux autres unités, les dépôts se font rapidement (sur quelques dizaines de mètres) et malgré une forte pente... Ils figurent ainsi sur les talus de Kamech, directement à l'aval des affleurements, et les accumulations se développent lentement grâce à la faiblesse de l'action érosive au niveau de la source d'approvisionnement en sédiments (comme cela a été prouvé pour le type TIX précédent).

Les groupes *t22'* présents uniquement sur Abdeladim et *t24* visibles sur Kamech, en revanche, sont liés à des transports sur des distances plus longues. Ils sont donc liés à des écoulements plus rapides et plus puissants capables de déplacer les grains de sable relativement loin : de

l'ordre de la centaine de mètres dans le cas de Kamech et du kilomètre pour Abdeladim. Comme cela est précisé plus haut, les accumulations sont alors liées au changement topographique, la densité de la couverture végétale n'intervenant pas ou peu dans ce processus.

Tableau 5.33 : les accumulations sableuses dans la surface du sol.

TYPE	Groupe	Hoplexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation...
TX	t22'	7	(Dermilite, 54%), microgravelon (28%) , aérophyse (6%), mésoépilite (6%), macroépilite (3%), bromon (1%), concholite (1%), nécrophytion (1%).	<i>Position h-1 ; hoplexols animés par une dynamique entaférique... Les sédiments transportés sur de grandes distances témoignent d'une dynamique trans- accumulative relativement lente.</i>
	t23	9	(Dermilite, 52%) microgravelon (33%) , aérophyse (5%), mésoépilite (2%), nécru- nécrophytion (2%), hydrophyse (1%), coprumite (1%), nécrophytion (1%), phorophyton (1%), rhizophyse (1%).	<i>Position h-1 ; hoplexols animés par une dynamique entaférique où les sédiments ont subit une migration sur une distance très courte... Les dynamiques sont accumulatives à trans-accumulatives selon la saison.</i>
	t24	4	(Dermilite, 46%) microgravelon (37%) , aérophyse (5%), mésoépilite (5%), nécrophytion (2%), rhizophyse (2%), hydrophyse (1%), macroépilite (1%), mélanumite (1%).	<i>Position h-1 ; hoplexols animés par des dynamiques trans-érosives ou trans- accumulatives selon la saison... les sédiments sont en transit permanent et restent en place sur des temps plus courts du fait de la non- pérennité des couvertures protectrices.</i>

En outre, une troisième distinction peut également être formulée. Elle permet d'ailleurs de distinguer *t22'* et *t24*. Ces deux ensembles apparaissent dans des milieux cultivés par l'homme et présentent de ce fait une alternance marquée entre période végétalisée (lors de la mise en culture ou si la parcelle est laissée en jachère) et période au cours de laquelle le sol est nu (labours, récolte...). Or, si cette alternance n'entraîne pas de changement dynamique majeur pour les hoplexols de *t24*, ceux de *t22'* connaissent, par leur position dans le milieu des périodes au cours desquelles ils vont connaître une plus dynamique érosive. En effet, les hoplexols concernés ne se localisent pas, comme la logique le voudrait (et comme c'est le cas pour *t24*), en position basse dans le paysage : ils apparaissent en sommet de croupes arrondies que l'on peut considérer comme des *points culminants relatifs* dans le milieu naturel (bien qu'ils dépendent d'unités topographiques plus hautes qu'eux pour leur approvisionnement en sables). De ce fait, en période non végétalisée, et si toutefois les flux d'eau le permettent, ils vont être soumis à une ablation des matériaux qui les composent. Celle-ci est d'ailleurs marquée par la présence de rigoles peu encaissées ainsi que par un développement plus faible du métaplexion inférieur. Toutefois, ces quelques différences n'entraînent pas de variations vraiment significatives de leur organisation et c'est la raison pour laquelle ils sont rassemblés dans le même type.

V.2.4.2.h - La surface du sol dans un contexte colluvial généralisé.

Le onzième type (TXI) présenté rassemble 62 hoplexols répartis, lors des traitements numériques dans trois groupes (*t25*, *t26* et *t28*). Ce onzième type présente l'état de la surface du sol le plus banal rencontré sur le terrain. Peu différenciés et peu contrastés, les hoplexols

qui s'y inscrivent se distinguent presque uniquement en fonction de la part d'air qu'ils contiennent (tableau 5.34).

Tableau 5.34 : les dynamiques colluviales généralisées.

TYPE	Groupe	Hoplexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation ...
TXI	<i>t25</i>	29	(Dermilite, 79%), aérophyse (8%) , mésoépilite (3%), microgravelon (3%), macroépilite (2%), rhizophyse (2%), alté-tanolite (1%), concholite (1%), nécrophytion (1%).	<i>Position h-1 ; Milieux relativement fermés des friches et des jachères anthropiques affichant une fissuration fine mais régulière... Présents dans les trois paysages</i>
	<i>t26</i>	19	(Dermilite, 69%), aérophyse (9%) , microgravelon (7%), rhizophyse (4%), mésoépilite (3%), macroépilite (3%), nécrophytion (2%), alté-tanolite (1%), gigaépilite (1%).	<i>Position h-1 ; Milieux relativement ouverts dans les jachères anthropiques sur sol limoneux, présents dans les trois bassins versants... La surface du sol affiche généralement un faciès battant laissant supposer un ruissellement important (le cas du glacier d'Abdeladim est le plus représentatif de cet ensemble.)</i>
	<i>t28</i>	14	(Dermilite, 80%), aérophyse (6%) , mésoépilite (3%), macroépilite (2%), nécrophytion (2%), rhizophyse (2%), blastolite (2%), concholite (2%), gigaépilite (1%), nanophytion (1%), phorophytion (1%).	<i>Position h-1 ; milieux de friches ou de jachères fermés en surface présents sur El Hnach et Kamech, lorsque le substrat marneux de l'infraplexion est proche de la surface du sol...</i>

Les hoplexols appartenant à TXI représentent l'état de la surface du sol dans un contexte colluvial généralisé. A ce titre ils figurent dans les trois paysages, sur des versants généralement longs. Le grand glacier d'Abdeladim est d'ailleurs l'ensemble topographique le plus représentatif de ce type. Leur caractère limoneux et battant ainsi que la compaction des hoplexols sous-jacents rend cet état de la surface du sol très sensible au ruissellement. Leur faible macroporosité accroît d'ailleurs cette impression.

Ce type d'hoplexols, qui concerne à la fois des espaces en jachère et des espaces jamais cultivés pose toutefois un problème : selon le lieu occupé par cet état, sa persistance dans le temps sera très variable. En effet les milieux de friches, jamais labourés, ne subissent ainsi pas de changements très significatifs au cours de l'année alors que les milieux de jachères sont plus soumis à des transformations radicales : les labours ou la germination sont des facteurs qui conduisent à les détruire temporairement. Les hoplexols concernés présentent alors un faciès plus proche de TXII que de celui du type dans lequel ils s'inscrivent normalement. Toutefois, il s'avère que les agents climatiques responsables de l'établissement de cet ensemble ramènent rapidement les hoplexols concernés par ce type de modification dans leur état initial (si l'on considère que TXI est l'état initial). Notons d'ailleurs que le type TXII (tableau 5.34) ne correspond qu'à une variante de TXI, très limitée temporairement et dont la répartition spatiale change en fonction des multiples actions anthropiques.

V.2.4.2.i - Les milieux où la surface du sol affiche une grande part d'aérophyse.

Le dernier type défini (TXII) correspond à un état d'ouverture très avancée de la surface du sol. Les trois groupes à l'intérieur desquels se répartissent les 16 hoplexols constituant ce type figurent dans le tableau 5.35.

Ce dernier type d'hoplexol rassemble des états de la surface du sol développés dans un contexte colluvial et qui affichent une importante macroporosité. Toujours situés en milieu cultivé, les hoplexols qui s'inscrivent dans cet ensemble répondent de processus différents quant à la mise en place de leur structure.

Tableau 5.35 : les fortes parts d'aérophyse dans la surface du sol.

TYPE	Groupe	Hoplexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation ...
TXII	t2	2	(Aérophyse, 28%), brunichron (39%), kortode (10%), macroépilite (9%), gramen (7%), mésoépilite (4%), nécrophytion (3%), microépilite (1%), bromon (1%), concholite (1%), gigaépilite (1%).	Position h+1 ; Les milieux de jachères où la surface du sol est détruite sous l'action anthropique indirecte. Ensemble non continu où le sol affleure directement en surface, sans couverture dermilitique.
	t27	11	(Dermilite, 67%) aérophyse (15%), microgravelon (4%), rhizophyse (4%), macroépilite (2%), mésoépilite (2%), nécrophytion (2%), alté-tanolite (1%), concholite (1%), coprumite (1%), rhizagé (1%).	Position h-1 ; Hoplexols des milieux anthropiques cultivés ou laissés en jachères établis sur un substrat vertique laissant apparaître en surface de nombreuses et profondes fentes de retrait formant un réseau octogonal de dimension métrique couplé à des fentes plus fines s'inscrivant dans un réseau de taille décimétrique cette fois.
	t29	3	(Dermilite, 55%) aérophyse (35%), rhizophyse (4%), macroépilite (3%), appumite (1%), mésoépilite (1%), nécrophytion (1%).	Position h-1 ; Hoplexols des milieux anthropiques cultivés marqués par une dissection très importante de la surface du sol Les agrégats polyédriques de taille centimétrique constituent une grande partie du dermilite et forme un réseau de mottes qui donnent un aspect très irrégulier à la surface du sol.

Les groupes t2 et t29 sont liés à l'action anthropique puisqu'ils témoignent respectivement du passage de troupeaux et de celui d'un engin de labours. Le groupe t27 en revanche est lié à la nature du support sur lequel il s'inscrit : il s'agit d'un substrat vertique constitué d'argiles gonflantes qui entraîne, lorsqu'il est sec, l'ouverture de larges fentes de retrait favorables à une infiltration accrue de l'eau. Ces groupes d'hoplexols affichent, du fait de leurs origines différentes, des durabilités plus ou moins longues : si un seul épisode pluvieux suffit à reconstituer la surface du sol de t2 dans son état initial (et qui pourrait s'approcher des enceintes du type TXI), il faut nécessairement une succession d'évènements (et donc un temps théoriquement plus long) t29 et t27.

V.2.4.3 - Les types d'hoplexols du métaplexion strict.

Tableau 5.35 : les types d'hoplexols du métaplexion strict : les « états de surfaces du sol ».

TYPE	<i>Les formes rencontrées dans le milieu</i>	<i>Interprétation dynamique</i>	<i>Bilan de l'eau et de la matière</i>
TI	<i>Des affleurements de roche mère à la surface du sol. Roches dures (grès ou calcaires) marquant souvent un escarpement peu développé mais structurant considérablement le paysage...</i>	<i>L'ensemble affiche une dynamique érosive liée à plusieurs processus : Ablation des sols et des éléments rocheux sous l'action du ruissellement, détachement et fragmentation de la roche du fait de la thermoclastie.</i>	Ruissellement (en surface) et infiltration (dans les diaclases)... localisés et facilement discernables dans le paysage. Ablation et transport des éléments détachés.
TII	<i>Des blocs de roche dure de nature et de taille diverse couplés à du sol et de la végétation. Souvent sous forme d'alignements parallèles entre eux mais perpendiculaires à la ligne de plus grande pente...</i>	<i>Formes de destruction anthropique irréversible du milieu naturel... passage d'engins lourds (bulldozer et charrue) en vue de l'implantation de dispositifs de lutte contre l'érosion. Dynamique accumulative.</i>	Ruissellement (lent) et infiltration (rapide)... très localisés spatialement (quelques points sur El Hnach). Rupture des flux allochtones et dépôt des matériaux transportés (si dynamique non autonome).
TIII	<i>Les milieux forestiers placés sous la protection de la canopée. Caractérisés par des accumulations de matériaux nécrophytiques en couches homogènes et relativement épaisses (localement) couvrant presque entièrement la surface du sol.</i>	<i>Dynamique accumulative généralisés des végétaux morts et des épilites... présence pérenne et tendance à l'épaississement au fil des années. Les dynamiques peuvent devenir trans-accumulatives selon le système de pente.</i>	Interception de la pluie, redistribution (vers la surface du sol), évaporation directe / Ruissellement lent (ou fortement ralenti). Généralisé à l'ensemble des forêts d'Abdeladim... Tendance à l'accumulation des matériaux (apports verticaux ou latéraux) du fait de la rupture des flux allochtones.
TIII'	<i>Les milieux forestiers placés en dehors de la protection de la canopée, les piémonts d'Abdeladim... Entre les arbres lors de boisements clairsemés ou dans les clairières et caractérisés par des accumulations minérales denses couvrant la surface du sol.</i>	<i>Dynamiques trans-accumulatives et érosives dont l'intensité varie avec le système de pente... Résulte de processus d'ablation à l'amont et d'un arrêt momentané des processus de transport (ruissellement...), pouvant se transformer en dynamique érosive en cas d'évènement pluvieux majeur et / ou d'une rupture des apports de matériaux allochtones (cas improbable).</i>	Interception de la pluie, redistribution (vers la surface du sol), évaporation directe / ruissellement ralenti... localisé à des points très particuliers de la géosphère... Equilibre dynamique complexe lié au transit et à l'accumulation des apports allochtones et au départ des matériaux autochtones (déposés lors d'un précédent évènement).
TIV	<i>Les milieux de friches et de jachères (h+I), caractérisés par une équiartition entre des épilites de tailles diverses (essentiellement méso- et macro-) et des végétaux de nature et d'extension (latérale et verticale) diverses...</i>	<i>Dynamiques variant de trans-érosif à trans-accumulatif variant selon la saison, le système de pente et les décisions anthropiques (pour les parcelles en jachères)...</i>	Interception de la pluie, redistribution vers la surface du sol, évaporation directe et évapotranspiration / ruissellement... Variable en fonction de la densité des couvertures végétales et pierreuses... Equilibre dynamique probable (dynamique essentiellement transitive).

Tableau 5.35 : synthèse des états de surface et typologie retenus (suite).

<i>TYPE</i>	<i>Les formes rencontrées dans le milieu</i>	<i>Interprétation dynamique</i>	<i>Bilan de l'eau et de la matière</i>
<i>TV</i>	<i>Les milieux caillouteux d'El Hnach et d'Abdeladim, caractérisés par de fortes concentrations d'épilités de taille diverses...</i>	<i>Dynamiques trans-accumulatives</i> résultant de processus qui conduisent à inclure progressivement les épilités dans une gangue de dermilite et témoignant d'une grande stabilité de la surface du sol.	Ruissellement et évaporation directe / infiltration... variant localement en fonction de la densité des couvertures pierreuses...
<i>TVI</i>	<i>Les milieux des bas-fonds humides de Kamech, marqués par une tendance à la dégradation, sous l'action de l'eau, des végétaux morts et à l'accumulation des sédiments de la taille e sables...</i>	<i>Dynamiques fortement accumulatives à mettre en interaction avec l'affleurement de grès qui marque la limite aval de l'ensemble...</i> Les écoulements (diffus et concentrés) sont très fortement ralentis par une inclinaison moins forte de la pente (stabilisation de versant) et par la densité de la végétation.	Ruissellement (diffus et concentré), évaporation directe (limitée) / infiltration... très localisé à quelques confluences particulières de Kamech... Le ruissellement et l'infiltration varient fortement en fonction de la saison et de l'état de saturation en eau du substrat sous-jacent.
<i>TVII</i>	<i>Les milieux où le tanolite se trouve à proximité de la surface du sol... sur talus très pentus ou dans les secteurs de bad-lands.</i>	<i>Dynamiques trans-érosives liées à un système de pente favorable et à un substrat rocheux tendre.</i> Les écoulements sont généralement diffus mais peuvent présenter des lignes de concentrations des flux qui conduisent rapidement à la mise en place de bad-lands.	Ruissellement et évaporation directe / infiltration... sur talus en forte pente... Les signes d'ablation sont nombreux et variés à la fois au niveau des composantes de la géosphère et de l'organisation latérale du milieu laissent penser à une forte instabilité de ce type de surface du sol.
<i>TVIII</i>	<i>Milieux particuliers où le dermilite s'arme progressivement d'une gangue calcaire... Sur les revers des reliefs de commandement calcaires d'El Hnach.</i>	<i>Dynamiques transitives particulières...</i> Liées à une pente relativement faible et à un système d'écoulement lent entre les couches marneuses et calcaires. Les sols restent maigres mais les concentrations en calcaires limitent localement le départ des matériaux.	Ruissellement lent (de surface et hypodermique) et évaporation directe / infiltration... contribution à la précipitation des carbonates dissout lors du passage souterrain de l'eau renvoient à une grande stabilité du milieu en ces points de mesure du milieu.
<i>TIX</i>	<i>Milieux sableux non liés à des processus d'accumulation des matériaux... sur lignes de crêtes de Kamech traduisant d'une altération sur place du substrat gréseux.</i>	<i>Dynamiques altéritiques et tendance accumulative (accumulation relative)...</i> marquant une autonomie des ensembles concernés et une absence (relative) des processus d'érosion mécanique (hydrique).	Ruissellement et évaporation directe / infiltration... L'eau infiltrée contribue à l'altération chimique sur place des grès. Ce phénomène est localisé à quelques points particuliers du milieu naturel et affiche une grande stabilité temporelle...
<i>TX</i>	<i>Les milieux marqués par une accumulation de microgravelon à la surface du sol... Sur certains versants (talus et versants longs) de Kamech et sur le glacis d'Abdeladim (section médiane à aval).</i>	<i>Dynamiques accumulatives très marquées et migration des matériaux sur de courtes ou de longues distances...</i> Les processus d'accumulation sont liés à une perte de la capacité de transport des eaux de ruissellement soit du fait d'un changement dans l'inclinaison de la pente soit du fait de l'arrêt (momentané) de l'écoulement (fin de la pluie.).	Ruissellement, évaporation directe et infiltration... localisée à quelques secteurs particuliers couverts par une importante végétation et/ou marqués par une faible pente... les hoplexols concernés semblent afficher une certaine stabilité.

Tableau 5.35 : Synthèse des états de surface et typologie retenus (suite et fin)...

TYPE	<i>Les formes rencontrées dans le milieu</i>	<i>Interprétation dynamique</i>	<i>Bilan de l'eau et de la matière</i>
TXI	<i>Les milieux peu contrastés, généralement limoneux et battants... Ce type correspond aux états les plus fréquents rencontrés, il correspond aux friches (milieu spontané) et aux jachères (milieux anthropiques)...</i>	<i>Dynamiques globalement érosives mais qui peuvent varier selon la saison... L'état relevé (correspondant à une période de stabilité pour l'ensemble des hoplexols) ne permet malheureusement pas de distinction significative entre les deux grands ensembles qui composent ce groupe.</i>	Ruissellement, évaporation directe et infiltration... localisés sur des secteurs généralement limoneux (dynamiques colluviale généralisée sur glacis et piémonts)... Etat stable à instable selon qu'il s'agit du milieu spontané ou du milieu anthropique.
TXII	<i>Les milieux travaillés par l'homme marqués par une importante macroporosité de la surface du sol... soit lié au passage d'un engin, soit au passage d'un troupeau...</i>	<i>Les dynamiques sont globalement érosives (à très érosives), mais varient de manière significative en fonction de la saison... Les changements de la surface du sol en ces lieux peut-être très brutale, de l'ordre de quelques minutes pour les changements les plus marquants.</i>	Ruissellement, évaporation directe et infiltration... sur les parcelles agricoles et variables selon la saison... Le caractère anthropique des parcelles concernées fait que les hoplexols de ce type présentent des états éphémères et instables...

Tableau 5.36 : comportements hydriques et érosifs des types de la surface du sol.

Liste des abréviations : *Ru* - Ruissellement ; *In* - Infiltration ; *Ev* - Evaporation (et évapotranspiration) ; *Ab* - Ablation ; *Tr* - Transit (transport) ; *Dp* - Dépôt ; *MP* - Macroporosité ; *St* - stabilité. Les signes "++", "+", "-" et "--" correspondent à une interprétation des dynamiques hydriques et érosives réalisée à la fois en fonction de la composition moyenne de chaque type d'hoplexol (composantes du milieu naturel, structure des composantes, densité et répartition...) mais aussi en fonction des différences de comportement supposées entre ces différents types... A ce titre, et même si aucune mesure de flux n'y est réalisée, ils permettent une première comparaison entre les ensembles définis.

TYPE	<i>Ru</i>	<i>In</i>	<i>Ev</i>	<i>Ab</i>	<i>Tr</i>	<i>Dp</i>	<i>MP</i>	<i>St</i>
TI	++	--	+	+	+	--	--	++
TII	--	++	+	--	-	+	+	++
TIII	--	++	--	--	--	++	++	++
TIII'	-	+	+	+	+	+	++	-
TIV	++	-/+	++	=	=	=	++	-/+
TV	+	+	+	-	--	++	-	++
TVI	+	++	--	--	--	++	--/++	++
TVII	++	--	+	++	+	--	--	--
TVIII	-/+	-/+	-	-	+	-/+	-	++
TIX	--	+	-	--	-	++	-	++
TX	+	-	++	-	+	++	-	+
TXI	++ (à --)	-- (à ++)	++	++	+	-	-	++ à --
TXII	-- à ++	++ à --	- à +	-- à ++	- à +	- à +	+	--

Ce dernier paragraphe, relativement long, montre les différents types d'état de la surface du sol rencontrés sur le terrain. Les 134 hoplexols de départ sont regroupés en 12 types en fonction de la nature et de la proportion des composantes qui les définissent ainsi qu'en fonction des dynamiques qu'ils caractérisent.

Il est important de rappeler avant de passer à la suite des traitements que les types définis représentent l'état donné de la surface mesuré à un temps T : celui du relevé. Ces types ne sont donc pas figés dans le temps et peuvent connaître des changements radicaux sur une période très courte. Notons que l'ensemble du milieu subit des variations au cours du temps mais qu'elles se réalisent sur des durées plus ou moins longues en fonction de l'ensemble considéré... Les milieux subissant une forte pression anthropique voient d'ailleurs des changements plus fréquents et plus brutaux que les autres. En effet, dans le milieu spontané les facteurs de transformation de la surface du sol tels que la pluie ou la sécheresse agissent lentement et n'entraînent pas de modifications fortes de la surface du sol. En revanche dans les milieux de jachères et les parcelles agricoles fortement soumises aux *aléas humains*, les modifications sont souvent brutales et le passage d'un état à l'autre se fait sur quelques minutes voire quelques secondes. Ces variations d'état sont aussi assorties de changements significatifs en terme de dynamiques hydriques et érosives : un milieu de jachère fermé peut se trouver très ouvert du fait du passage d'une charrue. Or, si ce fait n'est pas difficile à interpréter, il n'en est pas moins problématique en terme de simulation des flux. En effet, un des principaux paramètres des modèles de simulation semi distribués est l'état de la surface du sol. C'est ce paramètre qui détermine pour partie l'infiltration et qui permet de déduire le ruissellement. Il est alors facilement compréhensible que la connaissance d'un seul état de la surface du sol limite considérablement la modélisation des flux à l'aide de ce type d'outils... Il est toutefois envisageable, grâce aux données et aux traitements réalisés par Faïza Allouch-Khébour (portant sur le suivi temporel des changements du métaplexion strict et supérieur), d'approximer les paramètres afin de présenter un scénario maximaliste et un scénario minimaliste. De cette manière, il est alors possible d'envisager plusieurs simulations en fonction d'états différents de la surface du sol, et de tenir compte de ses changements dans le temps lors des simulations du ruissellement et de l'érosion qu'elle induit.

Cela sera abordé plus loin dans l'analyse, une fois que les cartes de segments de paysage seront établies. Le point suivant de ce chapitre présente les traitements réalisés pour le métaplexion inférieur en vue d'obtenir la typologie de ses hoplexols.

V.2.5 - Les types d'hoplexols du métaplexion inférieur.

Les traitements numériques permettant d'établir la typologie des hoplexols dans le métaplexion inférieur reposent sur une table de contingence de dimensions 424 * 62 (424 hoplexols décrits par 62 diagnostics primaires). Ces traitements aboutissent à la définition de 34 groupes d'hoplexols eux-mêmes rassemblés dans 11 types d'enceintes de la géosphère.

Contrairement aux hoplexions présentées jusqu'à présent, le métaplexion inférieur n'est pas soumis à des variations temporelles fortes. En effet, cet ensemble évolue sur de longues périodes et les processus responsables de ses principaux changements, lorsqu'ils existent, sont inscrits de manière durable dans les différentes matrices. Ils apparaissent alors comme des éléments constitutifs du *sol* qui ne sont pas susceptibles de varier sur une échelle de temps humaine. Leur lecture sur le terrain renseigne donc sur les changements qui s'opèrent dans les sols et permettent de déduire les dynamiques en cours sans toutefois que ces dernières ne puissent aboutir à des modifications radicales du milieu durant la période concernée par l'étude. Seuls quelques matériaux peuvent varier de manière plus rapide : il s'agit de la part d'air et d'eau qu'ils contiennent. Mais là encore, les processus qui conduisent à les faire varier (infiltration, évaporation...) sont relativement lents et restent visibles durant une période suffisamment importante pour pouvoir être relevés et interprétés.

Ainsi, les seuls changements vraiment tangibles que l'on est amené à considérer concernent les différenciations latérales. Ces dernières, parfois très marquées dans le paysage, suivent principalement les règles établies par les systèmes de pentes dans lesquels les différentes

unités s'inscrivent. Il semble en effet que leurs variations soient toujours impulsées par des modifications (même infimes) de la topographie, ces dernières étant elles mêmes conditionnées par la nature du substrat géologique sous-jacent. Cet élément clé facilite dans bien des cas les liaisons entre facettes topographiques et types de géon (géotope) et permet, au moins en partie, le passage (par extrapolation) du niveau stationnel au niveau général. Mais n'avançons pas trop vite dans les déductions... Il s'agit, pour l'instant de déterminer les différents types de métaplexion inférieure. Les segments de paysages viendront plus tard dans l'analyse !

Comme précédemment, deux points sont abordés dans ce paragraphe. Le premier permet de présenter les traitements numériques nécessaires à la différenciation des groupes puis des types d'hoplexols et le second donne et commente les résultats obtenus.

V.2.5.1 - Les traitements numériques du le métaplexion inférieure (F).

Les traitements numériques sont réalisés en deux temps : une première analyse, établie sur la table de contingence complète permet d'extraire toutes les particularités rencontrées dans le milieu naturel, puis trois séries d'opérations effectuées sur des tables de contingence reformulées.

V.2.5.1.a - Les particularismes du métaplexion inférieure.

La première série de traitements réalisée sur la table de contingence complète permet de mettre en évidence 18 groupes d'hoplexols à partir de l'analyse de 24 axes factoriels (de F1 à F18 ; de F20 à F23 ; F26 et F28). En effet, au regard des inerties cumulées, il s'avère nécessaire d'aller jusqu'à l'axe F16 pour expliquer 80 % de la variance. Les axes supplémentaires retenus n'interviennent que peu du point de vue statistique mais permettent de compléter efficacement les groupes établis sur les premiers axes. En outre, leur élimination en première phase des traitements permet de clarifier les séries d'analyses suivantes et de distinguer trois groupes parfaitement individualisés...

Cette première phase du traitement est donc relativement longue, mais elle permet la mise en avant d'un grand nombre de dynamiques très spécifiques, souvent très isolées spatialement. Celles-ci sont pourtant fondamentales pour la compréhension de l'organisation du milieu naturel, de ses processus évolutifs et de ses comportements hydrodynamiques. En effet, chacune de ces particularités correspond presque exclusivement à un comportement hydrique bien particulier qu'il est important d'isoler, d'identifier et d'analyser car ils renvoient toujours à des cheminements spécifiques de l'eau dans le milieu.

Les axes F1 et F2 (figure 5.22) sont caractérisés par deux variables qui traduisent toutes deux des dynamiques entafériques. Ainsi, le premier axe renvoie à des accumulations sableuses superficielles sur un versant de Kamech (KAM Q5 R6). A ce titre, il est caractérisé exclusivement (contribution = 98 % ; cosinus carré = 99,1 %) par la variable psammiton. Seulement deux hoplexols s'inscrivent sur cet axe (ces deux hoplexols affichent également de très fortes contributions relatives et absolues). Ils décrivent le premier groupe (noté *f1*) d'hoplexols du métaplexion inférieure. Le second axe correspond à des accumulations de matériaux d'altération de la roche mère. La seule variable décrivant cet axe, l'entaféro-allotérite, participe à hauteur de 96,9 % dans la construction de cet axe et présente une contribution relative ($\cos^2 = 0,975$) telle qu'elle ne peut plus être utilisée pour caractériser un autre axe factoriel. Là encore seulement deux hoplexols participent activement à cet axe. Ils forment le second groupe d'hoplexols, noté *f2* dans la typologie. Ces deux premiers axes

mettent ainsi en avant une première dynamique singulière dans le milieu naturel et renvoie à des processus liés au colluvionnement sur les versants.

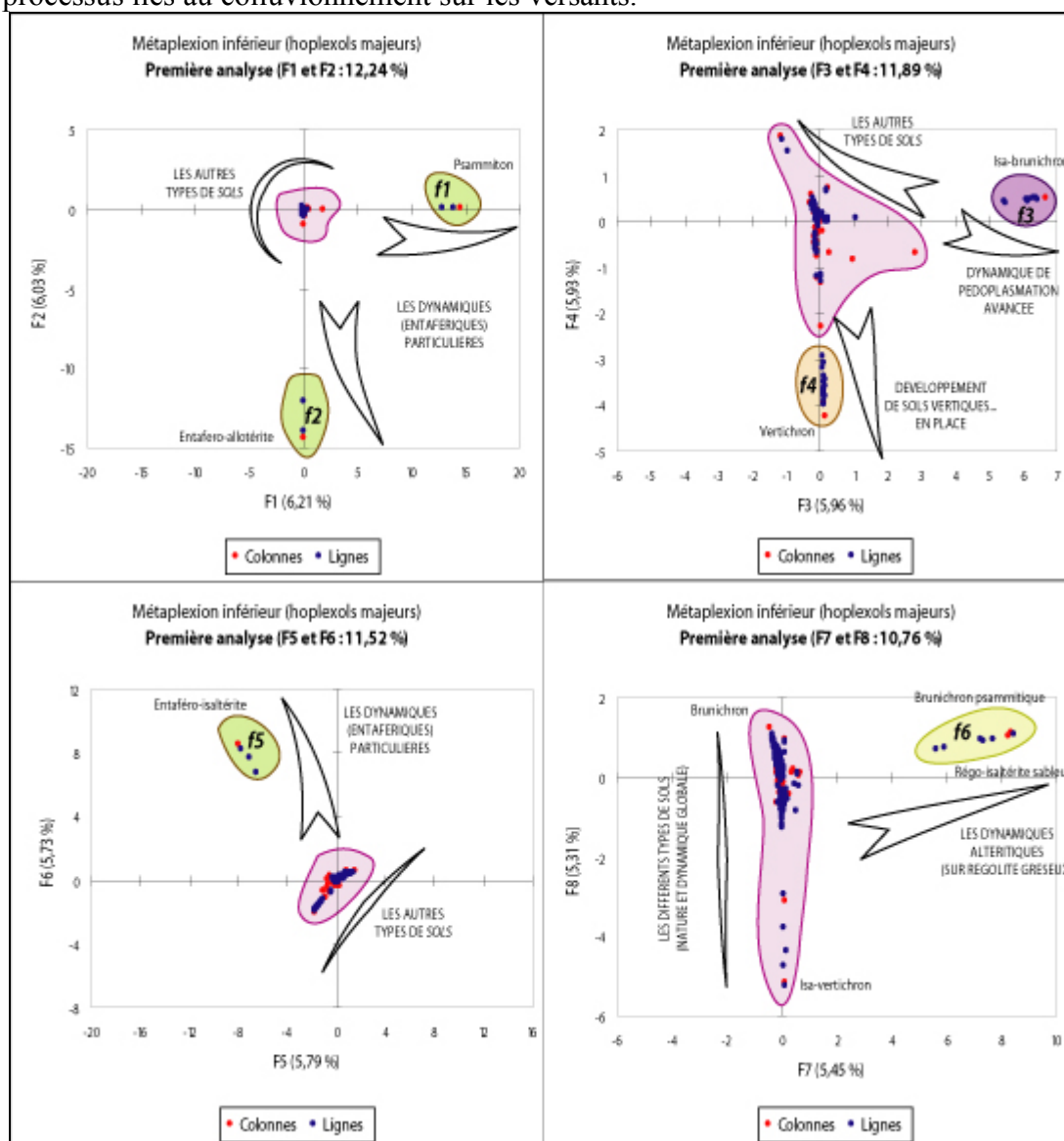


Figure 5.22 : Les premiers groupes d'hoplexols du métaplexion inférieure.

Avec F3 et F4 deux nouvelles tendances apparaissent. La première correspond à une dynamique de pédoplasation qui conduit progressivement à achever la transformation de la roche mère pour donner naissance à un sol brun. Ainsi, **l'axe F3** se construit autour de la variable *isa-brunichron* qui intervient à hauteur de 96,2 % dans sa construction. Le troisième groupe (codé *f3*) établi sur cet axe rassemble ainsi 9 hoplexols profonds, tous situés sur la première toposéquence de Kamech (leur contribution cumulée s'élève à 96,1 %).

Avec **l'axe F4**, quelques idées de structure globale émergent même s'il est encore trop tôt pour permettre d'en dégager les différents groupes d'hoplexols. En effet, si l'inertie de cet axe est représentée, à hauteur de 80 % pas la seule variable *vertichron*, il faut tenir compte également de trois autres diagnostics primaires décrivant tous des structures pédiques différentes, opposées en terme de dynamique mais générales en ce qui concerne le nombre d'hoplexols qu'elles incluent. Ainsi, les variables *entaféro-brunichron*, *entaféro-vertichron* et *brunichron* viennent compléter, tout en s'opposant les unes aux autres, la construction de cet axe. Les

contributions absolues cumulées permettent d'expliquer 91 % de l'inertie de cet axe. La forme étalée du nuage de point témoigne de ce fait. Toutefois s'il est possible de suggérer que ces trois dernières variables renvoient à des dynamiques différentes, il est encore trop tôt pour définir plusieurs associations d'enveloppes de la géosphère à partir de cet axe. De ce fait, seul les 22 hoplexols rattachés au vertichron définissent dès à présent un groupe (noté *f4*). Leur contribution cumulée explique 81,2 % de l'inertie de cet axe factoriel. Les hoplexols concernés, tous présents sur le bassin versant de Kamech, correspondent à des hoplexols superficiels et profonds généralement situés à l'amont des versants. Ils renvoient à un type de sol particulier caractérisé par des mouvements vertiques qui entraînent, selon son état d'humectation, l'ouverture de fentes de retrait (parfois très larges) ou le gonflement et la dilatation de la structure...

Les axes F5 et F6 font ressortir deux variables d'une manière assez singulière : aucune d'entre-elles ne s'inscrit véritablement sur un axe en particulier mais elles participent toutes deux à la construction de ce plan factoriel (tableau 5.37).

Tableau 5.37 : contributions relatives et absolues des variables entaféro-isaltérite et entaféro-vertichron sur les axes factoriels F5 et F6.

	Variables	F5	F6
<i>Contribution absolue</i>	Entaféro-isaltérite	44.9%	51.7%
	Entaféro-vertichron	35.7%	42.3%
<i>Contribution relative</i>	Entaféro-isaltérite	45.7%	52.5%
	Entaféro-vertichron	41.8%	49.1%

Cette répartition pose un problème au niveau de l'interprétation. En effet, aucune de ces variables n'appartient vraiment à un axe donné ni ne s'oppose à l'autre d'un point de vue statistique. En toute logique (du moins si l'on reste dans la logique suivie jusqu'à présent), il serait possible de dire que l'entaféro-isaltérite s'inscrit sur F5 et que l'entaféro-vertichron correspond à F6. Mais cela masque alors les oppositions qui les caractérisent, sur F6 notamment.

Hormis ces questions d'ordre purement statistique, un problème de déséquilibre spatial apparaît. En effet, la première variable décrit un groupe composé uniquement de 3 hoplexols alors que la seconde en rassemble 52 autour d'elle, soit près de 12 % du total des individus de la table de contingence. Il semble donc qu'il est impossible d'analyser ces deux ensembles sur le même plan puisque le premier renvoie à une particularité du milieu tandis que l'autre affiche un caractère plus global au sein duquel des processus différents surviennent très probablement. En conséquence, le plan factoriel F5-F6 ne permet d'établir qu'un seul groupe d'hoplexols associé à la variable entaféro-isaltérite. Le groupe adjoint à la seconde variable sera d'ailleurs être analysé dans la seconde phase de l'analyse, celle qui porte sur la table de contingence reformulée après *élimination* de toutes les particularités susceptibles de *parasiter* la suite des traitements... De ce fait, un seul groupe est déduit de ce graphique. Il rassemble trois hoplexols médians et superficiels affectés par une dynamique à la fois pédoplasmatique, c'est-à-dire liée à la *transformation de la roche en sol* et entaférique et donc renvoyant à des processus de colluvionnement. Le groupe ainsi créé est noté *f5*.

Avec le **septième axe factoriel**, nous retrouvons le cadre plus classique de type *un axe / une variable / un groupe*. Ainsi, une seule variable (le brunichron psammitique) contribue à

hauteur de 91,6 % à la construction de l'axe. Son cosinus carré très fort (0,962) fait d'ailleurs que cette variable ne peut prendre part à la caractérisation d'aucun autre axe factoriel. En outre, la variable régo-isaltérite sableux semble, à la lecture du graphique, intervenir dans la différenciation du groupe rattaché à la première variable présentée. Il s'agit en fait simplement d'un effet visuel lié à la projection des points sur les axes. Les très faibles valeurs de contributions (absolues et relatives) attestent ce propos. Toutefois, en terme de composition et de dynamique du milieu, ces variables sont très proches. Les hoplexols qu'elles caractérisent appartiennent au même géon et connotent de processus similaires situés à des stades évolutifs différents. Ils sont en effet tous liés à des phénomènes d'altération d'affleurements gréseux... Il est cependant encore trop tôt pour préciser les rapports qui les unissent. De ce fait, un seul groupe est établi pour le moment. Il rassemble 6 hoplexols, situés sur la première et la sixième toposéquence de Kamech, et témoigne d'une dynamique d'altération avancée de la roche mère gréseuse.

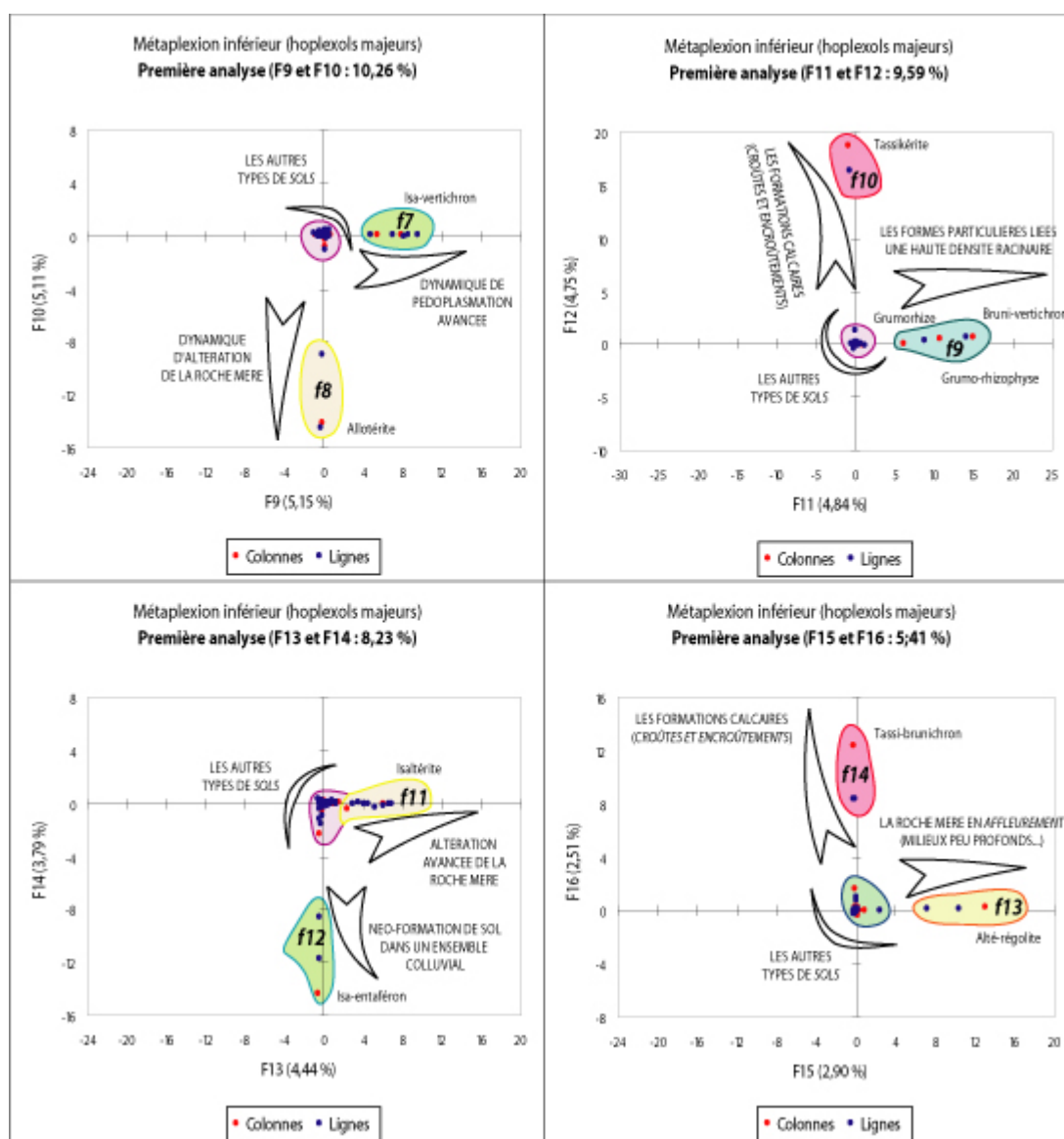


Figure 5.23 : Les premiers groupes du métaplexion inférieur (axe F9 à F15).

Enfin, le dernier axe factoriel (F8) présenté sur cette figure (5.22) met en avant une opposition fondamentale entre deux variables : le brunichron d'un côté et l'entaféro-

brunichron d'un autre. Il renseigne de cette manière sur deux dynamiques globales qui opposent les sols bruns : les hoplexols ayant subi un déplacement et ceux qui sont encore en place. Ces deux ensembles renvoient donc à deux éléments importants dans l'analyse du milieu naturel : les dynamiques érosives assurant le départ des sédiments (couplés à des processus de pédoplasation) et les dynamiques accumulatives qui permettent la mise en place de sols colluviaux... Il n'est pas encore possible d'établir précisément les groupes d'hoplexols inscrits dans chaque dynamique. Les inerties sur l'axe concerné, trop faibles, connotent de l'existence de particularités très lourdes statistiquement. En conséquence l'axe F8 ne permet pas la définition de groupes d'hoplexols même s'il présente des éléments essentiels à l'analyse.

La figure 5.23 présente la suite des traitements réalisés sur la table de contingence de départ (sans reformulation). Elle montre les huit groupes d'hoplexols déduits de l'analyse des axes factoriels F9 à F15. Tous ces axes renvoient une nouvelle fois à des particularités du milieu naturel, rencontrées de manière ponctuelle dans les paysages analysés.

Ainsi, **l'axe F9** est caractérisé par la variable isa-vertichron, un intergrade entre un isaltérite et un vertichron, qui traduit une dynamique de pédoplasation et de vertisolisation. Ce diagnostic intervient pour 69 % dans la construction de cet axe factoriel (avec une contribution relative de 69 %). Il partage également cet axe avec le brunichron qui contribue à hauteur de 18 % mais qui n'entre pas exclusivement dans sa construction : son cosinus carré égal à 28,2 % indique à ce sujet qu'il ne lui est pas exclusif. Toutefois, il ne semble pas vraiment exister de relations directes entre ces deux composantes. Les hoplexols qu'elles caractérisent ne se localisent en effet pas à proximité dans le milieu naturel et sont associés à des processus très différents : puisque la première composante correspond à un sol vertique *en formation* tandis que la seconde renvoie à un sol brun *en place*. De ce fait, l'axe F9 ne permet de définir qu'un seul groupe d'hoplexols. Celui-ci, codé *f7* dans la typologie, rassemble 5 hoplexols profonds sur le bassin versant de Kamech à l'intérieur desquels des processus de transformation de la roche mère en sol apparaissent. Ce groupe est d'ailleurs à rapprocher du groupe *f3*. Ces deux ensembles participent d'ailleurs au type TIV rassemblant tous les hoplexols présentant une dynamique de pédoplasation.

L'axe F10 permet la définition du huitième groupe d'hoplexols (*u8*). Centré autour de la variable allotérite (contribution = 98 % ; cosinus carré = 98,6 %), ce groupe rassemble seulement deux hoplexols qui traduisent une altération très prononcée de la roche mère marneuse. Notons que cette composante de la géosphère n'est pas à sa place habituelle. En effet, les dynamiques qu'elle induit et les formes qu'elle affiche appartiennent normalement à l'infraplexion. Toutefois, sa présence à ce niveau n'indique pas nécessairement un dysfonctionnement du milieu naturel. En effet, les deux hoplexols (sur Kamech et El Hnach) qu'elle englobe rassemblent également des éléments du métaplexion inférieur, en quantité certes limitée mais qui autorisent leur placement dans cet hoplexion. Cependant, ce genre d'hoplexol, pouvant être qualifié de mixte puisque susceptible d'appartenir à deux hoplexions différents, est souvent problématique lors de la phase de terrain : il n'est pas forcément aisé de les placer dans l'un ou l'autre des ensembles sans influencer fortement des traitements statistiques ultérieurs.

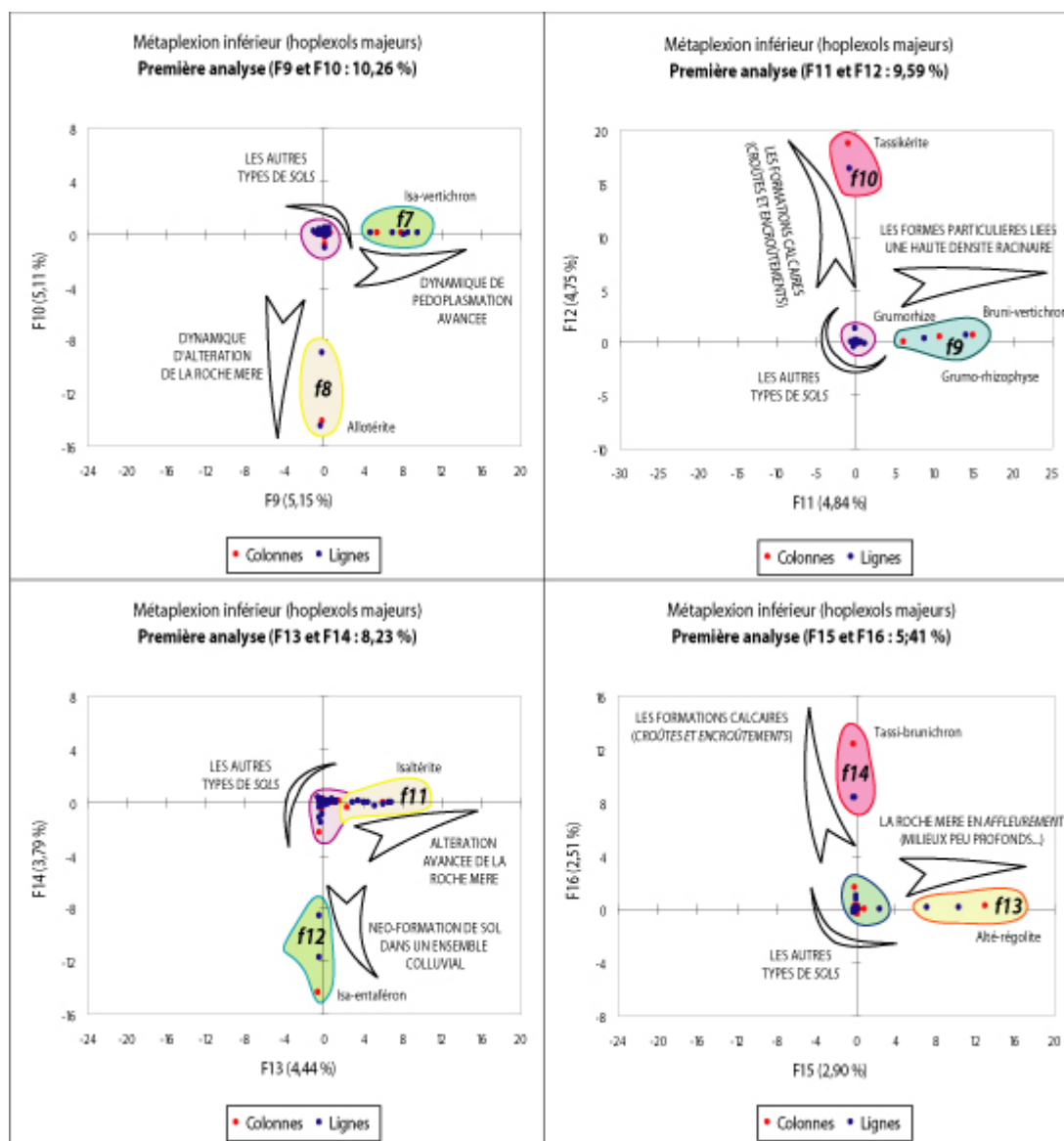


Figure 5.23 : Les premiers groupes du métaplexion inférieur (axe F9 à F15).

L'axe F11 est essentiellement caractérisé par une variable : le bruni-vertichron. Cette dernière participe à hauteur de 86,1 % dans sa construction et renvoie à un intergrade particulier entre deux sols de nature différente. Cette spécificité est très probablement liée à la présence d'une haute densité racinaire (grumhorize et grumo-rhizophyse) qui entraîne des processus susceptibles de modifier sensiblement la texture et la structure de la matrice d'origine. Ces processus sont toutefois très rares et n'ont en tout et pour tout été répertoriés que dans deux hoplexols appartenant à deux relevés superficiels de Kamech, proches spatialement et établis sur des parcelles agricoles. Il semblerait dès lors que ces modifications soient aussi le fruit de l'action des labours. Malheureusement peu d'observations sur des parcelles en culture ont pu être réalisées pour confirmer ce propos. Les parcelles anthropiques laissées en jachères ne permettant pas la mise en avant de structures similaires. Notons également qu'il s'agit peut-être d'un *excès de zèle* entraînant une différenciation à outrance lors de la collecte d'informations sur le terrain. Dans ce sens, l'existence d'un tel diagnostic primaire est peut-être fortement compromise et l'idée de dynamique qui lui est associée tout à fait fausse. Ceci étant, il ne s'agit que de deux hoplexols parmi les 424 appartenant au métaplexion inférieur...

l'erreur induite est donc quasi-invisible dans la typologie finale au niveau du type d'hoplexol auquel ce groupe *f9* est rattaché !

L'axe F12 montre lui aussi une dynamique qui pourrait être qualifiée d'unique dans le milieu naturel, du moins si l'on considère le diagnostic primaire qui lui est associé isolément, sans tenir compte des contraintes spatiales et des processus qu'il laisse entrevoir. A ce titre, la seule variable qui lui est associée (le tassikérite) contribue à hauteur de 98,8 % et lui est pratiquement superposée puisque son cosinus carré atteint les 99,1 %. Un seul hoplexol figure d'ailleurs dans le groupe (*f10*) mis en évidence par les traitements statistiques. Ceci étant et sans entrer dans une explication approfondie, cette variable et le groupe qu'elle détermine présentent une dynamique du milieu tout à fait intéressante et vraiment spécifique au monde méditerranéen semi-aride : les glacis formés pas des croûtes et des encroûtements calcaires. Ainsi, ce cas isolé (résultant probablement, mais pas nécessairement, d'une erreur de placement dans cet hoplexion) s'inscrit dans un ensemble de processus chimiques, hydriques et érosifs spécifiques à cette zone climatique et qu'il est important de faire apparaître et d'expliquer clairement. Ces explications viendront toutefois plus loin dans l'analyse, lorsque toutes les formes similaires du métaplexion et de l'infraplexion seront individualisées.

L'axe F13 est lui aussi caractérisé par une seule variable sans pour autant montrer une dynamique spécifique. En effet l'isaltérite qui intervient à hauteur de 88,9 % traduit une forme très avancée de dégradation (altération) de la roche mère, à l'intérieur de laquelle se dégagent déjà quelques structures pédiques (agrégats...). Les 9 hoplexols rassemblés dans ce qui forme le onzième groupe (*f11*) pourraient s'apparenter à un front de pédoplasation au sein duquel se mélangent, dans des fractions variables (mais toujours largement dominés par l'isaltérite), de l'alté-tanolite et du brunichron. Ce mélange montre bien les processus en jeu à l'heure actuelle et qui conduisent progressivement à former un nouveau sol. Pris dans ce sens ce groupe est une fois encore marginal à cette profondeur du milieu naturel. En effet, ce type de formation s'inscrit théoriquement dans l'infraplexion... toutefois, lorsqu'ils apparaissent dans cet hoplexion, les structures affichées sont plus massives et les proportions de *sol réel* (c'est-à-dire complètement formé et présentant de nombreux agrégats) contenues dans la matrice isaltéritique sont souvent infimes.

L'axe F14 permet de discerner un douzième groupe d'hoplexols (noté *f12*) centré autour de la variable isa-entaféron. Cette dernière explique 93,0 % de l'inertie de l'axe et se positionne sur ce dernier avec une contribution relative de 96,2 %. Très marginal dans le milieu, ce groupe rassemble seulement deux hoplexols (sur le bassin versant d'El Hnach montrant une reprise de la pédoplasation dans un contexte colluvial très particulier : les mouvements de masse.

L'axe F15 détermine lui aussi un groupe (*f13*) spécial qui devrait s'inscrire théoriquement dans l'infraplexion si la variable dominante ne partageait pas les enceintes concernées avec une fraction assez importante de brunichron. En effet l'alté-récolite, composante de la géosphère qui permet la construction de cet axe (contribution = 98 % ; cosinus carré = 98,2 %), appartient *normalement* au domaine du *sous-sol*. Sa présence à ce niveau n'existe que pour quelques points très particuliers de milieu naturel, lorsque les sols sont très maigres et que la roche mère affleure en surface (ou à proximité de la surface du sol). Les trois hoplexols qui s'inscrivent et définissent ce groupe se retrouvent et se localisent tous sur El Hnach, notamment au niveau du relief de commandement calcaire présent sur Q1 et Q2. Toutefois, il est certain que d'autres hoplexols similaires mais répertoriés dans l'infraplexion se rapprochent des trois décrits ici. Il est alors fortement probable qu'ils soient associés au moment de la typologie des relevées de milieu.

Enfin le dernier groupe (*f14*) défini sur la figure 5.23 s'inscrit dans une dynamique proche de celle du groupe *f10*. En effet, la variable dominante de l'axe **F16** (tassi-brunichron, contribution = 98,2 % ; cosinus carré = 99 %) correspond à un début d'induration du sol par des concentrations importantes de calcaires précipités.

Les seize premiers axes factoriels font donc ressortir 14 groupes d'hoplexols renvoyant à des dynamiques particulières et peu répandues dans le milieu naturel mais qui présentent souvent un grand intérêt en ce qui concerne l'analyse et l'explication des flux hydriques dans les sols. En effet, la majorité des processus à l'œuvre dans ces groupes nécessitent un passage et un stockage de l'eau durant un temps suffisant (difficilement définissable) pour permettre des phénomènes tels que la dissolution, la précipitation, l'hydrolyse ou encore l'oxydation... Ces processus seront analysés, dans la mesure du possible dans le point suivant de ce paragraphe. A la lecture de la courbe des inerties (non représentée par une figure), il aurait été possible de s'arrêter ici et de passer à la seconde phase des traitements numériques. Toutefois il s'avère que certaines variables intéressantes affichent encore des contributions élevées sur les axes F17 - F18, F20 à F23 et F26 - F28. Il semble donc intéressant d'isoler les groupes d'hoplexols qui dépendent de ces variables car ils laissent apparaître de nouvelles dynamiques hydriques (ou qui viennent compléter celles déjà mises en évidence). La figure 5.24 présente donc la suite de cette analyse (la table de contingence n'est toujours pas reformulée).

Ainsi l'axe **F17** correspond au gigagravelon, affichant une contribution de 90,9 % pour un cosinus carré de 87,5 %, un quinzième groupe d'hoplexols apparaît (*f15*). Celui-ci englobe seulement deux hoplexols et doit être rapproché du groupe *f12*. Tous les hoplexols concernés par ces deux groupes s'inscrivent en effet dans le même contexte morphodynamique correspondant aux des processus de mouvement de masse qui définissent une partie de la troisième toposéquence d'El Hnach.

Tableau 5.38 : contribution absolues et relatives des variables alté-tassikérite, tafékérite et alté-tafékérite sur les axes factoriels F18, F19 et F22 (Les variables ne figurent pas sur les trois axes mais apportent une contribution individuelle à chacun d'entre eux...).

Variables	Contribution absolue			Contribution relative		
	F18	F20	F22	F18	F20	F22
Alté-tassikérite	78.8%	-	-	80.3%	-	-
Tafékérite	-	77.0%	-	-	79.1%	-
Alté-tafékérite	-	-	93.4%	-	-	93.3%

Les axes **F18, F20 et F22** rassemblent des hoplexols (inscrits dans trois groupes bien distincts) autour des variables alté-tassikérite, tafékérite et alté-tafékérite. Le tableau 5.38 donne les valeurs de contribution absolues et relatives de ces variables sur leurs axes respectifs. Ces trois axes, et les variables qui leur sont associées permettent la formation de trois groupes d'hoplexols (*f16, f17 et f18*) rassemblant respectivement deux, cinq et une enveloppe de la géosphère. De par la nature des composantes qui les caractérisent, ils participent aux dynamiques de concentration des calcaires et sont donc à rapprocher des ensembles *f10 et f14* décrits précédemment avec lesquels ils forment le type codé *FVI* dans la typologie finale des hoplexols. Les mêmes remarques concernant leur positionnement dans le métaplexion inférieur peuvent d'ailleurs être formulées...

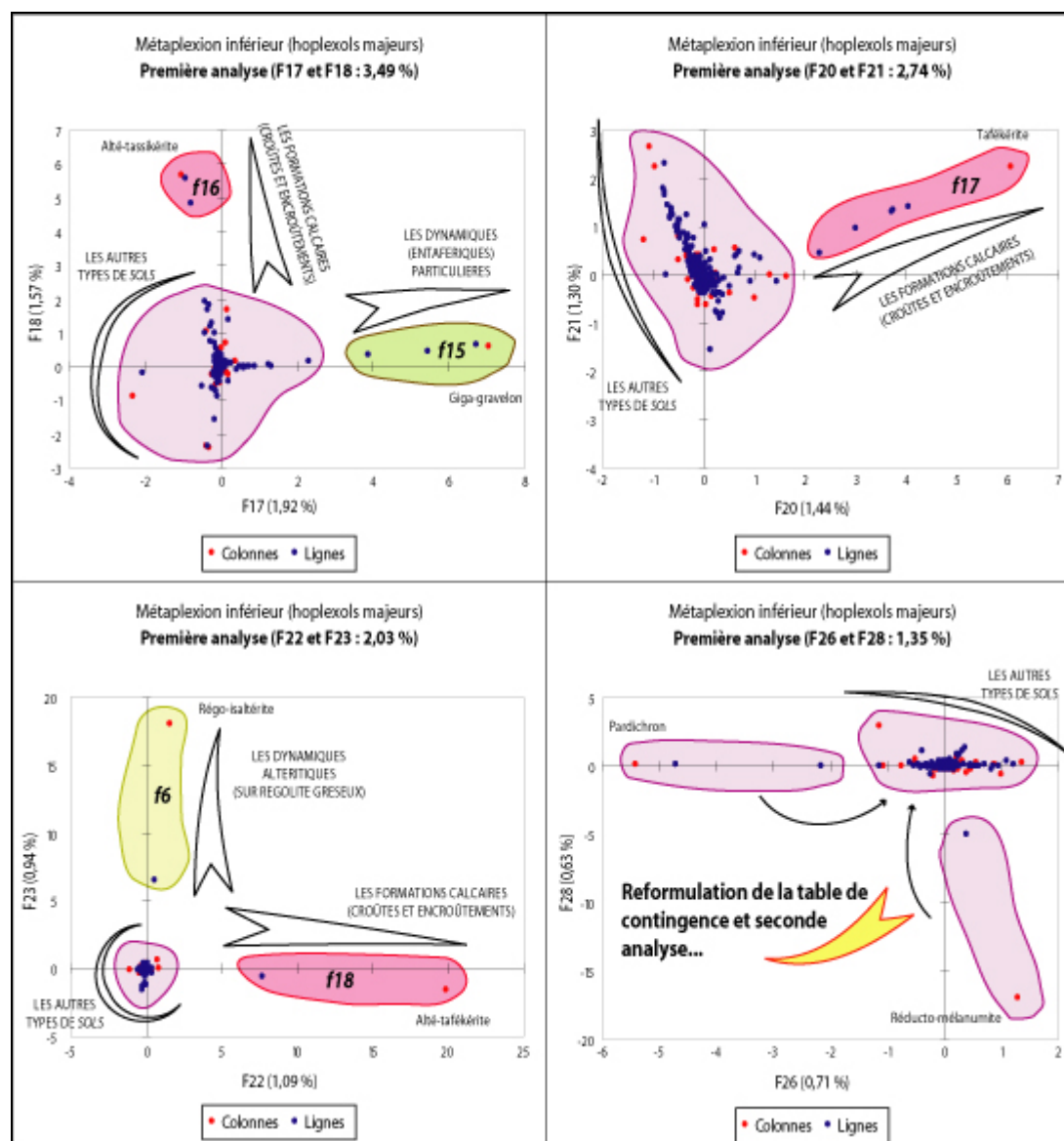


Figure 5.24 : Les premiers groupes du métaplexion inférieur (axes F17 et F18, F20 à F23, F26 et F28).

L'axe factoriel F21 fait ressortir le microgravelon sableux avec une contribution absolue de 68,9 % pour un cosinus carré qui s'élève à 70,5 %. Une quarantaine d'hoplexols s'inscrivent également sur cet axe, avec de faibles contributions absolues mais qui une fois cumulées permettent d'expliquer 70 % de son inertie. Un problème se pose cependant avec les hoplexols qui se rattachent à cet axe : certains d'entre eux, même s'ils affichent des contributions relatives et absolues fortes, ne contiennent absolument pas de microgravelon sableux... composante pourtant déterminante de cet axe ! Malheureusement peu d'éléments permettent de comprendre ce phénomène et à la réflexion, il semble qu'il ne faille pas pour l'instant exclure cette variable et ces hoplexols du tableau de contingence. L'axe factoriel F21 n'est par conséquent associé à aucun groupe.

L'axe F23 est également associé à une seule variable dont il fut déjà question puisqu'elle ressortait dans le voisinage de l'axe F7 : Il s'agit du régo-isaltérite sableux. Celui-ci qui participe à hauteur de 89,5 % dans la construction de l'axe F23. Un seul hoplexol situé sur un affleurement gréseux de Kamech s'y inscrit. Cependant, l'ensemble des hoplexols appartenant

sur F7 et F23 (sept en tout) se positionnent dans un même contexte même s'ils figurent à des altitudes différentes. Tous sont caractérisés par une forte part de sables issus de la désagrégation sur place, du banc de grès qu'ils dominent. Ils témoignent ainsi de processus similaires (altération...) mais dans des états d'avancement différents. Ainsi, du fait de la proximité statistique des variables qui les décrivent et de la similitude au niveau des processus responsables de leur formation, l'ensemble des hoplexols extraits grâce aux axes F7 et F23 sont rassemblés dans un même groupe, noté f6, et participent de ce fait à l'élaboration du type FV correspondant aux dynamiques d'altération de la roche mère gréseuse...

Sur F26 se détache très nettement la variable pardichron qui apparaît comme un élément majeur dans la construction de l'axe factoriel (contribution = 79,3 % ; cosinus carré = 69,3 %), construction qu'il partage toutefois avec l'alté-tanolite (contribution = 10 % ; cosinus carré = 9,3 %). Ces deux diagnostics sont liés, sur le terrain, par les processus d'altération sur roche tendre qu'ils déterminent. Ils figurent ainsi dans un ensemble qui conduit peu à peu à la formation d'un sol. Toutefois, les deux hoplexols qui semblent s'inscrire sur cet axe n'appartiennent pas exclusivement à ce dernier (du moins au regard de leurs faibles contributions relatives) mais se rapprochent également du groupe f11 centré autour de l'isaltérite. Ceci n'est d'ailleurs pas le fruit du hasard car là encore les processus en jeu sont fortement liés. Par conséquent, l'axe F26 ne permet la formation d'aucun groupe. Les composantes et les enceintes de la géosphère qui semblaient s'en approcher ne sont donc pas retirées de l'analyse et sont étudiées lors de la seconde phase du traitement.

Enfin, le dernier axe factoriel, **l'axe F28**, retenu au cours de cette première phase d'analyse statistique, centré autour de la variable réducto-mélanumite, apparaît en fait comme une erreur de lecture du tableau. En effet, il semblait que cette composante occupe une place plus importante au cours de cette phase de l'étude. Mais ses faibles contributions et l'unique hoplexol qu'elle permet d'isoler ne paraissent pas répondre de l'importance de cette variable en terme de dynamique du milieu naturel. En effet, celle-ci correspond à des processus particuliers (stagnation et décomposition de la matière...) liés à la présence quasi-pérenne de l'eau dans les sols et doit de ce fait être apparentée à d'autres enceintes de la géosphère. Il s'avère que les processus envisagés au départ, lors de la décision de retenir cet axe supplémentaire, répondent d'associations plus complexes que celles proposées ici. De ce fait l'axe factoriel F28 ne décrit aucun groupe. La variable le caractérisant le mieux et l'unique hoplexol qui lui est associé ne sont par conséquent pas retirés de la table de contingence et participent à la seconde phase de l'analyse.

Ainsi s'achève cette première partie des traitements numériques. Basés sur l'analyse de 28 axes factoriels, ils permettent de dégager 18 groupes d'hoplexols correspondant, la plupart du temps, à des processus et à des dynamiques très singulières. Souvent isolés spatialement et représentant parfois des cas uniques, ces groupes ont une importance capitale en terme d'organisation et d'évolution du milieu naturel ainsi qu'en ce qui concerne les flux hydriques qui s'y inscrivent ou qui y transitent. En ce sens ils ont d'ailleurs d'excellents indicateurs du cheminement vertical de l'eau dans la géosphère (ou tout du moins dans sa partie qui nous intéresse ici)... Au final, ce sont 81 hoplexols qui s'inscrivent dans les ensembles décrits. Ces derniers (et les variables qui leurs sont associées) sont, du fait de la perturbation qu'ils génèrent par leur poids statistique, retirés de la table de contingence. Cette dernière, une fois reformulée et réduite aux dimensions 343 individus * 49 variables, permet de passer à la seconde phase des traitements. Là encore, une AFC est réalisée. Les résultats qu'elle fournit sont présentés avec la figure 5.25...

V.2.5.1.b - Seconde phase de l'analyse : un cas d'école pour un cours de statistiques.

Les résultats présentés dans la figure 5.25, issus d'une AFC réalisée sur la table de contingence reformulée, s'affichent tels un cas d'école pour un cours sur les analyses factorielles. En effet, en dépit du grand nombre d'individus et de variables, trois ensembles d'hoplexols s'individualisent parfaitement et s'opposent les uns aux autres en terme de nature des composantes et des dynamiques générales qui voient leur mise en place. Ainsi, le premier sous-ensemble apparaît sur F1. Centré autour de la variable entaféro-vertichron (contribution = 78,5 % ; cosinus carré = 96,1 %), il rassemble 53 hoplexols de Kamech. Les sols vertiques colluviaux qu'il décrit sur cet axe sont d'ailleurs opposés aux deux autres ensembles établis, notamment à l'ensemble formé autour de l'entaféro-brunichron (sur F1, contribution = 14,4 % ; cosinus carré = 26,6 %).

Sur l'axe F2 s'opposent très distinctement les groupes centrés autour des variables brunichron (contribution = 41,4 % ; cosinus carré = 70,5 %) et entaféro-brunichron (contribution = 52 % ; cosinus carré = 90,3 %). Partagés entre les trois bassins versants, mais essentiellement présents sur El Hnach et Abdeladim, ces deux sous-ensembles représentent (respectivement) 145 et 150 hoplexols.

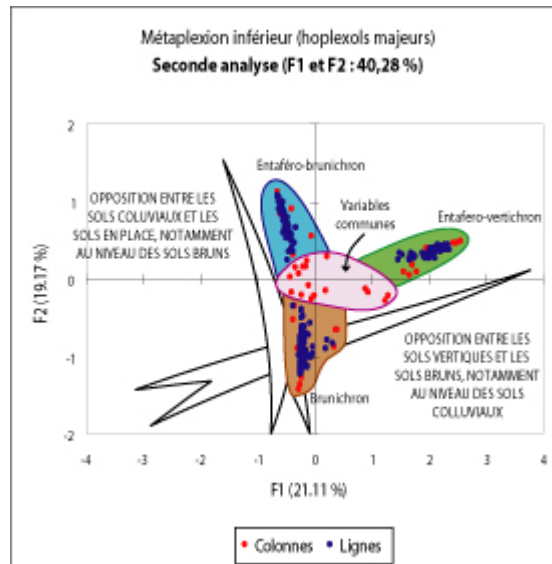


Figure 5.25 : Seconde étape de l'analyse, résultats de l'AFC sur la table de contingence reformulée...

Si l'on raisonne au niveau du plan factoriel défini par F1 et F2, il est alors possible de faire ressortir une double opposition : un contraste de nature des matériaux, entre les sols vertiques et les sols bruns, notamment au niveau des sols colluviaux (sur F1) et une opposition de dynamique globale des versants entre les sols en place et les sols colluviaux (sur F2). Toutefois, compte tenu de la taille de chaque ensemble, il est probable que des différences notoires existent au sein de chaque sous-ensemble. De ce fait, il convient d'affiner ce résultat en réalisant une nouvelle série de traitements numériques.

Ceux-ci sont réalisés indépendamment les uns des autres et se basent sur trois tables de contingences aux dimensions suivantes :

- Analyse de l'entaféro-vertichron : 53 individus * 16 diagnostics primaires.
- Analyse de l'entaféro-brunichron : 145 hoplexols * 15 diagnostics primaires.

- Analyse du brunichron : 150 hoplexols * 17 diagnostics primaires.

Ces trois séries d'analyses visent à délimiter des groupes d'hoplexols dans chacun des sous-ensembles mis en évidence sur la figure 5.25. Cette démarche a comme principal intérêt de faire ressortir les différents processus qui peuvent exister au sein de chaque groupe dans le but d'affiner la typologie des hoplexols dans le métaplexion inférieur.

V.2.5.1.c - Analyse au sein du sous-ensemble entaféro-vertichron.

Le test de Cattell (non représenté) réalisée sur cette première table de contingence indique qu'il faut s'intéresser aux quatre premiers axes factoriels pour faire apparaître les principales différences qui surviennent dans cet ensemble. Ces quatre axes permettent d'expliquer environ 65 % de l'inertie de ce groupe, ce qui est relativement faible mais qui permet tout de même de faire apparaître les principales dynamiques de cette *entité*.

L'axe F1 est décrit par deux variables qui permettent d'expliquer 73 % de son inertie : le mélanumite (contribution = 37,8 % ; cosinus carré = 64,2 %) et le microgravelon (contribution = 35,5 % ; cosinus carré = 65,6 %). Celui-ci rassemble deux hoplexols superficiels de Kamech pour former le groupe noté *f23*. Ils s'inscrivent dans une dynamique déjà évoquée fréquemment : les bas-fonds humides à forte tendance accumulative du paysage de Kamech.

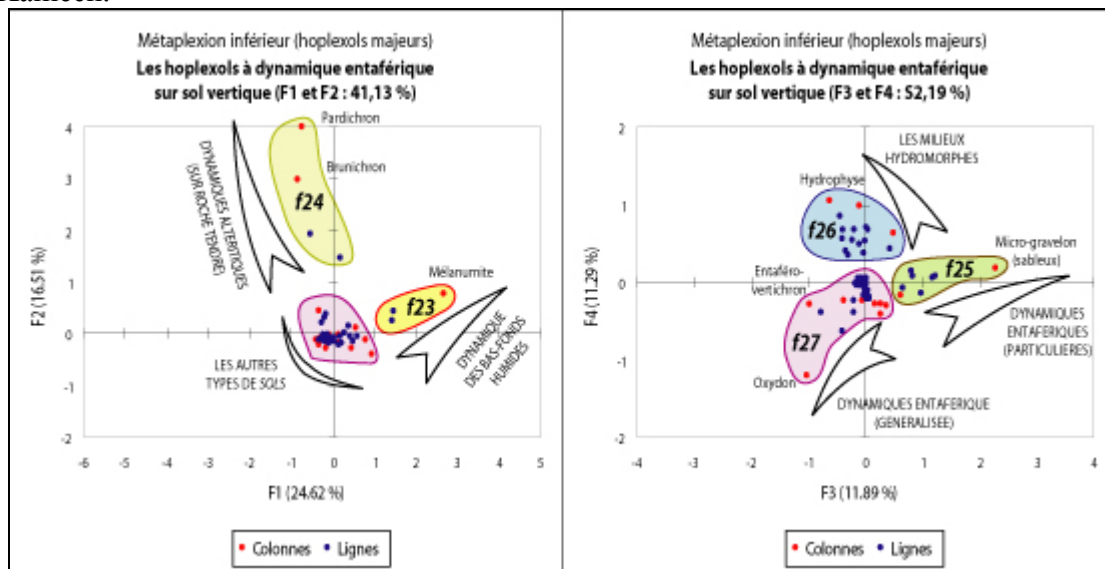


Figure 5.26 : Les hoplexols vertiques à dynamique colluviale.

L'axe F2 met également en avant un groupe d'hoplexol. Celui-ci, codé *f24*, rassemble deux hoplexols profonds autour d'une unique variable (le pardichron, contribution = 70,1 % ; cosinus carré = 88,9 %) et témoigne de dynamiques liées à l'altération de la roche mère sous-jacente et d'une reprise de la pédogenèse du fait de la présence, au moins temporaire d'eau. Notons d'ailleurs qu'un des deux hoplexols marqués par cette dynamique s'inscrit comme le *dernier hoplexol du métaplexion inférieur* dans le contexte des bas-fonds humides de Kamech...

Enfin, **les axes F3 et F4** mettent en avant trois groupes englobant respectivement 6, 13 et 30 hoplexols. Le premier de ces groupe (*f25*), rassemble des hoplexols superficiels et médians composés en grande partie par des microgravelons sableux. Il connote une dynamique

entaférique liée à un mouvement de sédiments sur de courtes distances (à proximité des affleurements gréseux. Le second groupe (*f26*) correspond à des hoplexols pouvant se retrouver sur tout le profil et contenant une part importante d'eau dans le volume total de l'hoplexol (à ce titre, la composante du milieu naturel qui caractérise le mieux ce groupe est l'hydrophyse). L'eau y est d'ailleurs directement visible sous une forme libre : les fosses pédologiques ouvertes en ces lieux subissaient un remplissage relativement rapide sur une quarantaine de centimètres d'épaisseur ! Enfin, le dernier groupe qui ressort de cette analyse (*f27*) rassemble les hoplexols les plus communs apparaissant dans ce contexte vertique et colluvial. Ces derniers occupent généralement la totalité des profils concernés et ne laissent transparaître que peu d'éléments intéressants du point de vue de la dynamique du milieu (peu de choses s'y déroulent d'ailleurs...). Ainsi, ils affichent une structure massive et peu diversifiée que seules quelques traces d'oxydation, témoins d'un passage temporaire et limité de l'eau, viennent égayer.

V.2.5.1.d - Analyse au sein du sous-ensemble entaféro-brunichron.

Le test de Cattell (figure 5.27) réalisé sur la table de contingence montre que seuls les deux premiers axes factoriels sont intéressants pour réaliser la typologie des hoplexols dans le sous-ensemble établi dans un contexte colluvial sur sol brun. La lecture des coefficients d'inertie (contributions et cosinus carrés) ne permet pas de faire apparaître directement les groupes d'hoplexols attendus. Il est donc nécessaire d'avoir recours à la CAH pour les délimiter clairement. Ce sont ainsi 4 associations qui sont définies automatiquement. Toutefois, la lecture des résultats de ces traitements permet de diviser manuellement l'une d'entre elles en deux car il s'avère qu'une dynamique quelque peu différente, mais non révélée par les opérations statistiques, s'y développe. Au final, ce sont donc 5 groupes qui sont établis.

Le **premier groupe d'enveloppes** de la géosphère qui ressort de ces traitements (*f19*) rassemble 103 hoplexols peu diversifiés. Il correspondent à des ensembles limoneux, lessivés, compacts et à priori peu perméables, présents sur les glacis d'El Hnach et Abdeladim. Ils s'inscrivent ainsi dans une dynamique colluviale généralisée et ancienne et sont presque exclusivement composés d'entaféro-brunichron. Cette classe établie automatiquement est en outre scindée manuellement pour délimiter un **deuxième groupe** de 6 hoplexols (*f19'*), inscrit dans le même contexte structural et présentant un faciès globalement identique *f19*, mais développé sous couvert forestier. A ce titre, ils affichent des systèmes racinaires plus complexes et présentent un taux de matière organique peu dégradée (appumite) supérieur à ceux observés dans les hoplexols de *f19*. Si les différences recensées entre ces deux groupes ne sont pas transcendantes (et c'est pour cela qu'elles ont échappé aux traitements numériques) elles méritent tout de même d'être signalées car elles témoignent d'un impact de la forêt sur le métaplexion inférieur. Son action est cependant très fortement limitée par le contexte climatique actuel peu favorable à la dégradation de la matière organique et aux processus d'humification.

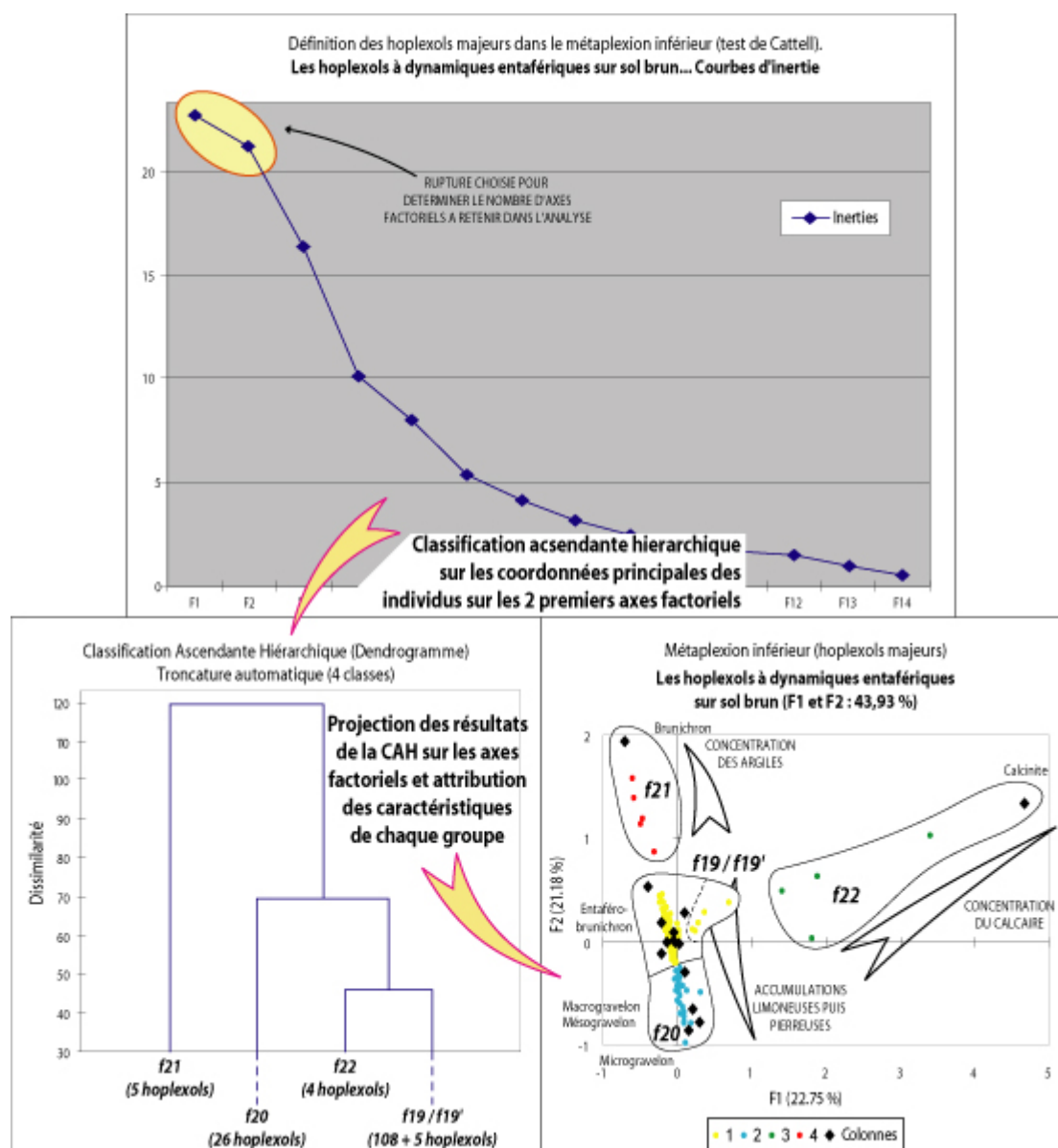


Figure 5.27 : Les sols bruns à dynamique colluviale.

Le troisième groupe établi par la CAH (*f20*) rassemble 28 hoplexols (dont deux figurent sur le bassin versant de Kamech) caractérisés par une abondance de microgravelon sableux couplés avec des fractions variables de mésogravelon et de macrogravelon. Ceux-ci renvoient également à une dynamique colluviale généralisée ancienne ou récente (tous ne se situant pas au même niveau dans le profil vertical) favorable aux dépôts de sédiments plus grossiers impulsés par une légère rupture topographique : l'impact du changement du système de pente (influençant la vitesse des flux et leur capacité de transport) conduit à la mise en place de ces hoplexols.

Le quatrième groupe révélé par les traitements numériques (*f21*) regroupe 5 hoplexols, tous situés sur le glacis d'Abdeladim. Associées à une teneur élevée en argile (brunichron), ces enveloppes profondes subissent au contact de l'infraplexion des processus d'argilification pouvant être liés à une reprise de l'altération du substrat marneux ou kéritique et à la migration / re-concentration des produits issus de cette dernière.

Enfin, le **cinquième groupe** établi (f22) regroupe 4 hoplexols autour de la variable calcinite. Tous inscrits sur le glacié d'Abdeladim, ces hoplexols superficiels montrent une dynamique hydrique particulière permettant le transfert et la précipitation des carbonates. Avec le temps, les accumulations successives de calcaire précipité forment un encroûtement peu cohérent mais à peu près continu qui pourrait, à terme mener à la mise en place d'une croûte calcaire plus marquée dans le paysage.

V.2.5.1.e - Analyse au sein du sous-ensemble brunichron.

Pour le dernier ensemble traité, seuls les 4 premiers axes factoriels sont pris en compte. Ils permettent la mise en évidence de dynamiques liées à l'altération (ancienne ou actuelle) de la roche-mère qui entraînent, en fonction de la nature du substrat, la distinction de 6 groupes d'hoplexols remarquables.

Sur le plan factoriel F1 - F2, les traitements numériques autorisent la distinction de trois groupes caractérisés par la présence de microgravelon sableux (f28), de macrogravelon (f28') et d'alté-tanolite (f29). Tous ces groupes traduisent de formes d'altération de la roche mère et leur nature varie en fonction des caractéristiques intrinsèques de cette dernière. Ainsi, les hoplexols inscrits dans f28 se développent sur un affleurement gréseux, l'unique hoplexol de f28' s'établit sur un ensemble conglomératique marqué par la cimentation de matériaux grossiers (brèches) et les hoplexols de f29 apparaissent dans des ensembles marneux situés sur des talus en forte pente. Notons également que f28 et f28' répondent de processus identiques et que seule la taille des éléments inclus dans la roche d'origine varie. En revanche, les processus responsables de la formation de f29 sont quelque peu différents du fait de la nature opposée du substrat sous-jacent.

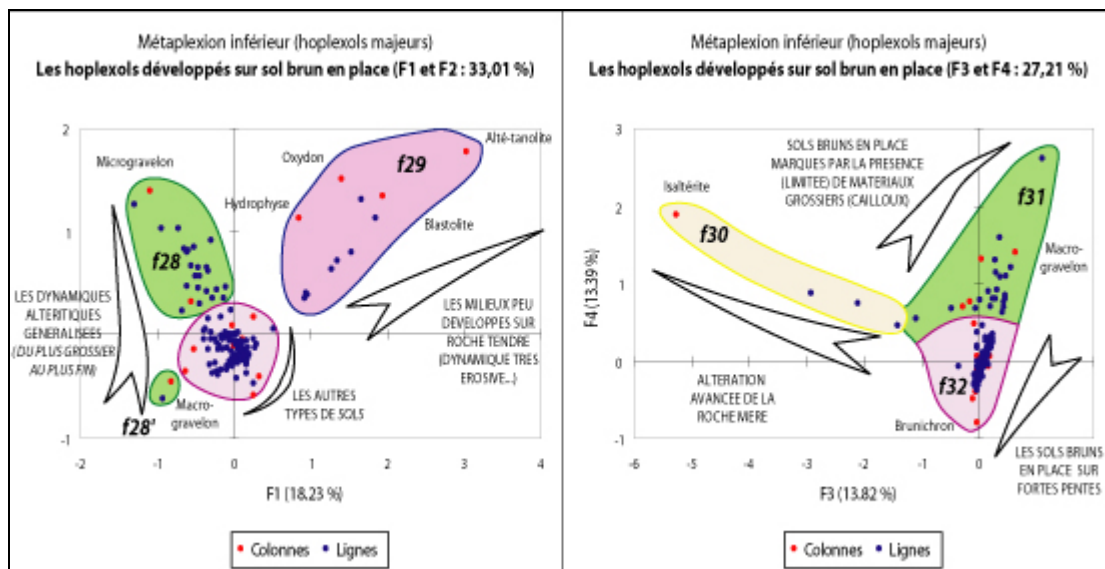


Figure 5.28 : Groupes d'hoplexols dans l'ensemble caractérisé par des sols bruns en place.

Sur le plan factoriel F3-F4, les trois derniers groupes de cette typologie apparaissent. L'ensemble noté f30 rassemble 3 hoplexols contenant une part importante d'isaltérite et témoigne ainsi de processus d'altération de la roche mère ainsi que des processus de pédoplasation qui conduisent peu à peu à définir des structures pédiques. Enfin, les groupes f31 et f32 rassemblent des hoplexols peu différenciés et à l'intérieur desquels les structures

pédiques sont parfaitement développées. Les seules différences entre ces deux ensembles résident dans le fait que *f31* affiche des faibles concentrations de macrogravelons alors que *f32* n'en présente jamais.

V.2.5.2 - Les groupes d'hoplexols du métaplexion inférieur.

Les traitements numériques réalisés sur les 424 hoplexols du métaplexion inférieur permettent de dégager 30 groupes différenciés sur le plan de la composition et des dynamiques auxquelles renvoient les composantes du milieu naturel qui s'y inscrivent. Ces groupes autorisent la définition de 11 grandes tendances qui définissent autant de types utiles à la classification finale. L'objectif de ce second point du paragraphe V.2.5 est de présenter plus précisément ces types d'hoplexols ainsi que les éléments d'explication sur l'organisation et les dynamiques du milieu naturel dans le métaplexion inférieur. Comme dans les cas précédent, chaque type est détaillé en fonction des groupes qu'il rassemble.

V.2.5.2.a - Les formes d'altération des roches tendres.

Le premier type défini (tableau 5.39) rassemble 17 hoplexols répartis dans 5 groupes de très petite taille. Ces hoplexols, apparaissant souvent en profondeur dans le milieu naturel et pourraient correspondre à la limite haute du front d'altération de la roche mère marneuse (ou au front d'altération lui-même lorsque le milieu est peu profond). A ce titre, de nombreux éléments liés à la nature et à la structure du matériau d'origine subsistent (diaclasses, filons, écailles et plaquettes marneuses...) mais ils partagent les volumes des hoplexols avec des signes d'oxydation (pouvant parfois être prépondérants), des traces de néoformation d'argiles et des structures pédiques clairement définies.

Les processus responsables de la mise en place de ces hoplexols sont liés à la fois à la circulation de l'eau en profondeur dans le milieu qui génère les processus chimiques d'altération de la roche et à la pénétration racinaire qui accentue le phénomène en favorisant les écoulements hypodermiques. Notons d'ailleurs que les racines jouent également un rôle au niveau de la fragmentation mécanique du matériau, mais celui-ci est très limité du fait de leur faible puissance. Les processus décrits semblent être encore actifs de nos jours, même s'ils sont ralentis par un climat affichant d'importants déficits hydriques. De ce fait, il s'avère que l'eau atteint périodiquement ces hoplexols profonds où elle stagne le temps nécessaire à leur activation.

Enfin, il est important de remarquer que du fait de leur nature, les hoplexols de *TI* se rapprochent nettement des enveloppes de la géosphère relevées dans l'infraplexion. L'absence de structures pédiques dans les groupes *f2*, *f5*, *f8* et *f24* tendrait d'ailleurs à faire penser que ces groupes sont plus liés à une erreur de répartition (lors de la différenciation sur le terrain) qu'à des hoplexols appartenant réellement au métaplexion. Pour le groupe *f29* en revanche le brunichron apparaît comme la composante dominante de l'ensemble. Il se place donc dans l'hoplexion qui convient, même si sa nature mixte et les processus qu'il met en évidence tendent à le rapprocher de l'infraplexion. Il correspond en outre à un cas un peu particulier dans *TI*. En effet, si les dynamiques hydriques et altéritiques qui le caractérisent s'approchent de celles des autres ensembles de ce type, la position de ses hoplexols sur le profil vertical (proches de la surface du sol) et leur localisation dans le paysage (dans des secteurs relativement pentus) fait que les processus d'altérations sont fortement concurrencés par des processus érosifs liés au ruissellement de surface. Dans les secteurs concernés par ces phénomènes (et donc associés au groupe *f29*), de nombreuses traces d'altération apparaissent dans des sols peu épais qui laissent supposer la grande proximité entre la roche mère et la surface du sol...

Tableau 5.39 : Groupes rassemblant des hoplexols d'altération sur roche tendre.

TYPE	Groupe	Hopexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation...
FI	f2	2	(Entaféro-allotérite, 82%) aérophyse (4%), oxydon (3%), mésogavelon (3%), microgavelon (2%), blastolite (2%), alté-tanolite (2%), alté-tassikérite (gravélique, 1%), appumite (1%), calcinite (1%), macrogavelon (1%), rhizophyse (1%).	hoplexols profonds marqués par une altération avancée de la roche mère marneuse et qui semblent avoir subi un déplacement latéral. Toutefois, vu la position de ces hoplexols, il est fortement probable que le matériau principal soit simplement de l'allotérite (donc développé sur place.)
	f5	3	(Entaféro-isaltérite, 78%) rhizophyse (4%), oxydon (3%), alté-tanolite (3%), aérophyse (3%), macrogavelon (2%), pardichron (2%), bulborhize (1%), hydrophyse (1%), blastolite (1%), mésogavelon (1%).	Hopexols médians (dans F) pouvant correspondre à un "front de pédoplasmation" : quelques structures de la roche mère subsistent (fantômes) mais la structure pédique est déjà en place (argilification...). Même remarque que pour F2 en ce qui concerne le caractère colluvial de l'ensemble.
	f8	2	(Allotérite, 70%), microgavelon sableux (13%), aérophyse (5%), rhizophyse (4%), appumite (2%), brunichron (2%), mésogavelon (2%), oxydon (2%), calcinite (1%), concholite (1%), hydrophyse (1%).	hoplexols profonds marqués par une altération avancée de la roche mère marneuse. De nombreux fantômes subsistent dans une matrice présentant des structures particulières mais pas encore d'agrégats à proprement parler
	f24	2	(Entaféro-vertichron, 72%) pardichron (9%), rhizophyse (5%), blastolite (4%), mélanumite (2%), brunichron (2%), aérophyse (1%), appumite (1%), hydrophyse (1%), isaltérite (1%), mésogavelon (1%), microgavelon (1%).	Hopexols colluviaux profonds (dans les bas-fonds humides) marqués par des dynamiques hydriques singulières qui conduisent à une dégradation avancée des composantes nécrophytiques et des matériaux de l'infraplexion, sous l'action d'une eau stagnante (et quasi-pérenne) Ces hoplexols pourraient se rapprocher d'un front de pédoplasmation.
	f29	8	(Brunichron, 59%), alté-tanolite (13%), aérophyse (9%), rhizophyse (5%), oxydon (4%), rhizagé (2%), bulborhize (2%), appumite (1%), calcinite (1%), grumhorhize (1%), hydrophyse (1%), macrogavelon (1%), pardichron (1%).	Hopexols superficiels présents uniquement sur les talus de Kamech, marqués par une importante quantité de tanolite marneux très altéré... Ces hoplexols voient les processus qui conduisent à la néo-formation de sols (pédoplasmation...) fortement concurrencés par ceux qui mènent à leur démantèlement (ablation.). Il en résulte des sols peu épais marqués par de nombreuses traces d'altération de la roche mère très proche de la surface.

V.2.5.2.b - Les accumulations sableuses dans les sols.

Le second type d'hoplexols (noté TII) dans la typologie regroupe 36 enveloppes de la géosphère réparties dans 3 sous-ensembles. Les groupes composant ce type sont répertoriés dans le tableau 5.40.

Ces hoplexols s'inscrivent sur les bassins versants de Kamech (f2 et f25) et d'Abdeladim (f20) où ils témoignent d'une dynamique colluviale marquée par des accumulations sableuses. Les processus responsables de la mise en place de ces formations sont globalement identiques

d'un ensemble à l'autre puisqu'ils résultent toujours d'un arrêt du transport solide par ruissellement. Toutefois, compte tenu du fait que les différentes associations s'inscrivent dans des systèmes de pente différents, les éléments qui induisent ce phénomène diffèrent entre les groupes. En effet pour les hoplexols de f2 et f20 (versant de Kamech, glacis d'Abdeladim), situés sur des versants peu inclinés, c'est un léger changement de déclivité qui impulse le ralentissement du ruissellement nécessaire au dépôt des sédiments grossiers. Les hoplexols de f25 en revanche, toujours situés sur de fortes pentes (talus de Kamech), sont plutôt liés à la présence d'une végétation dense et pérenne dont l'impact est ressenti au niveau des écoulements de surface : ceux-ci n'atteignent pas la vitesse nécessaire pour déplacer ces sédiments. Si le résultat est apparemment identique, il est tout de même important de rappeler que dans un cas, les sédiments sont déplacés sur de grandes distances, les secteurs d'atterrissement étant éloignés de ceux produisant ces sédiments (affleurements gréseux essentiellement) alors que dans l'autre, la distance qui sépare les accumulations sableuses de leur point de départ est très courte. En outre, il est bon de préciser que si certains des hoplexols s'affichent à des profondeurs importantes, d'autres sont très superficiels. Cette distinction permet la remarque suivante : les dynamiques qui conduisent à leur mise en place peuvent être relativement anciennes (probablement de l'ordre de quelques milliers d'années) ou très récentes et encore actives de nos jours.

Tableau 5.40 : les sols colluviaux à forte teneur en sables.

TYPE	Groupe	Hoplexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation...
FII	f1	2	(Psammiton, 85%) aérophyse (5%), mélanumite (3%), rhizophyse (3%), hydrophyse (2%), appumite (1%), concholite (1%), mésogavelon (1%), microgavelon (1%), blastolite (1%), nécrophytion (1%), oxydon (1%).	<i>Hoplexols superficiels d'origine entafériques marqués par une accumulation très importante de matériaux sableux (microgavelons sableux)</i>
	f20	28	(Entaféro-brunichron, 51%), microgavelon sableux (14%) , mésogavelon (9%) , microgavelon (7%) , aérophyse (6%), macrogavelon (4%), rhizophyse (4%), rhizagé (4%).	<i>Hoplexols superficiels à profonds, lessivés et marqués par une dynamique colluviale singulière qui conduit à la mise en place de lits de sables plus ou moins denses et épais... En outre, ces accumulations fines sont complétées par des accumulations minérales de taille plus importantes et de nature diverses (en général, graviers et cailloux gréseux).</i>
	f25	6	(Entaféro-vertichron, 61%), microgavelon sableux (14%) , aérophyse (8%), rhizophyse (5%), rhizagé (2%), oxydon (2%), blastolite (2%), appumite (1%), bulborhize (1%), grumo-rhizophyse (1%), humite (1%), mélanumite (1%), mésogavelon (1%).	<i>Hoplexols colluviaux superficiels et médians marqués par une forte concentration de sables et une macroporosité apparente importante (liés à la présence de fentes de retrait). Leur localisation dans le milieu diffère quelque peu, même si tous se placent globalement à proximité d'un affleurement de grès.</i>

La remarque formulée apparaît comme une évidence : c'est un fait, ce qui est enfoui profondément dans un sol est plus ancien que ce qui apparaît à sa surface. Malgré ce caractère anodin, cette observation traduit des phénomènes très importants qui doivent impérativement apparaître lors de la caractérisation des segments de paysages : là où les accumulations se font en surface, des dynamiques sont encore actives (pour une raison ou pour une autre) de nos jours. Les segments attachés à ces hoplexols devront nécessairement en tenir compte... Ils

affichent une dynamique accumulative. En revanche, là où les hoplexols de ce type sont enfouis profondément, et si aucune accumulation de ce type n'apparaît en surface, alors il est tout à fait possible que la dynamique actuelle ait changé du tout au tout et que d'accumulatifs ils soient passés à érosifs... Notons enfin, dans le cas des dynamiques récentes, que les segments dans lesquels elles s'inscrivent peuvent dans certains cas afficher une dynamique plus transitive. C'est notamment le cas de *f25* : les relevés auxquels appartiennent ces hoplexols se localisent sur des secteurs en forte pente et peuvent être affectés par des mouvements migratoires si toutefois *l'intensité du ruissellement* le permet. Ces hypothèses ne peuvent malheureusement pas être confirmées dans l'immédiat. Seule la typologie des relevés de milieu et la confrontation spatiale de ses résultats le pourra.

Quoi qu'il en soit, il est important de noter pour la suite que les dynamiques hydriques sont marquées par un ralentissement notoire des flux de surface et par une infiltration relativement importante du fait de la macroporosité élevée des hoplexols concernés. En outre ces enveloppes de la géosphère, lorsqu'elles apparaissent en profondeur, peuvent accueillir une nappe d'eau temporaire. Là encore ce phénomène dépend essentiellement du contexte géomorphologique dans lequel elles s'inscrivent, il ne pourra être analysé en finesse que dans une étape ultérieure de l'analyse.

V.2.5.2.c - Vertisolisation et sols vertiques en place.

Le troisième type d'hoplexols qui ressort des traitements numériques rassemble 24 enveloppes de la géosphère appartenant au paysage de Kamech. Ces hoplexols se répartissent en deux groupes (*f4* et *f9*). Les hoplexols concernés occupent en général l'ensemble du profil vertical et se localisent plutôt en amont des versants présents dans ce paysage.

Tableau 5.41 : les sols vertiques en place.

TYPE	Groupe	Hoplexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation...
FIII	<i>f4</i>	22	(Vertichron, 80%) aérophyse (6%), rhizophyse (4%), oxydon (2%), rhizagé (1%), alté-tanolite (1%), appumite (1%), calcinite (1%), hydrophyse (1%), macrogravelon (1%), mésogavelon (1%), microgravelon (1%), blastolite (1%).	Hoplexols superficiels à profonds développés sur sols vertiques (argiles gonflantes) et présentant une importante macro-fissuration permettant un cheminement rapide de l'eau dans le profil vertical en saison sèche. En saison humide, les fissures se referment lorsque les sols sont dans un état saturé. Le cheminement vertical est alors fortement ralenti et le ruissellement en surface augmente.
	<i>f9</i>	2	(Bruni-vertichron, 70%), aérophyse (10%), grumo-rhizophyse (10%), mésogavelon (4%), rhizophyse (3%), appumite (3%) calcinite (1%).	Hoplexols superficiels marqués par une très forte concentration racinaire qui contribue à modifier la structure originelle du sol vertique

Les enveloppes de la géosphère inscrites dans ce type affichent des sols aux caractères très particulier. Mise en place dans un contexte climatique à saisons contrastées mais plus humides qu'actuellement, leur formation est associée à des phases hydromorphes auxquelles succèdent des périodes de dessiccation intenses (Duchaufour, 1970). Selon Duchaufour (2001) ils s'établissent sur un substrat riche en bases, souvent mal drainé, capable de libérer une quantité importante de cations alcalino-terreux (tels que le calcium et le magnésium).

L'auteur précise que le calcium associé aux alternances humectation - dessiccation permet la néoformation d'argiles gonflantes en quantité considérable qui confère aux sols ainsi formés leurs caractéristiques les plus originales : le retrait en saison sèche et le gonflement en période humide. Ces mouvements vertiques conduisent par ailleurs à une homogénéisation des profils et expliquent leurs particularités structurales. D'apparence massive et durcie, ces sols affichent une structure prismatique caractérisée par l'ouverture de larges fentes de retrait en saison sèche. En outre, il est possible de voir apparaître dans leurs parties superficielles des horizons grumeleux très aérés du fait de l'action du self-mulching (ceci permettrait d'ailleurs de justifier l'existence des deux hoplexols présents dans le groupe f9).

Les sols de ce type affichent, à la fin de la saison sèche, une structure permettant la circulation rapide de l'eau et une infiltration accrue du fait de leur importante macroporosité durant cette période. A mesure que l'on avance dans la saison humide, ils se gorgent progressivement d'eau pour atteindre un niveau de saturation élevé. L'infiltration est alors limitée et le ruissellement augmente. Ce caractère explique un constat fait par les hydrologues de l'ORSTOM sur le bassin versant de Kamech (Jean-Marie Lamachère, communication personnelle, Tunis juin 2004) : les mesures limnométriques réalisées au niveau de la retenue collinaire et comparées aux données pluviométriques montrent un décalage important entre le début des pluies (donc en fin de saison sèche) et le début du remplissage du lac, témoignant d'une absence de ruissellement à la surface du bassin versant. A mesure que l'on avance dans la saison pluvieuse ce décalage se réduit progressivement jusqu'à devenir pratiquement nul. Les temps de concentration du ruissellement sont alors très courts, de l'ordre de quelques minutes seulement du fait de la faible superficie du bassin versant et contrastent nettement avec ceux de la fin de la saison sèche.

Ce phénomène illustre bien l'impact de cette structure sur le cheminement de l'eau dans le milieu. Il est alors envisageable d'identifier deux parcours opposés : le premier selon la verticale, qui connaît son paroxysme lors des premières pluies automnales et le second latéral apparaissant dès lors que les sols ont suffisamment absorbé d'eau. Toutefois, Duchaufour (1970) précise à ce sujet que les sols de ce type connaissent un engorgement superficiel, liée à des processus d'imbibition capillaire des pores fins en surface et que de ce fait, les circulations d'eau en profondeur sont relativement rares, du moins lorsque les horizons superficiels sont saturés. De ce fait, même s'ils sont capables d'emmagasiner d'importantes quantités d'eau, ils ne permettent que très rarement la formation de nappes d'eau souterraines.

V.2.5.2.d - Pédogenèse et mise en place de nouveaux sols.

Le quatrième type d'enveloppes de la géosphère du métaplexion inférieur rassemble 30 hoplexols essentiellement présents sur Kamech mais également remarquables sur El Hnach et Abdeladim. Ceux-ci se répartissent dans 5 groupes de petite taille (tableau 5.42). Les dynamiques qu'il met en avant ainsi que les processus qui leurs sont associés sont donc peu représentés dans les paysages étudiés. Cela tient au fait que les conditions climatiques actuelles sont défavorables à leur mise en place : les phénomènes mis en cause nécessitent en effet la présence d'eau pour fonctionner convenablement, ce qui est évidemment fortement incompatible avec les caractéristiques pluviométriques présentes. De ce fait, il n'est pas étonnant que les hoplexols de ce type appartiennent majoritairement au paysage de Kamech, celui-ci s'inscrivant dans un contexte plus humide que ses homologues de Tunisie centrale.

Les hoplexols inscrits dans ce type sont tous caractérisés par une dynamique pédogénétique qui conduit progressivement au développement de structures pédiques. Les formes observées sont d'ailleurs souvent des intergrades entre des matériaux d'altération et des sols à proprement parlé. A ce titre, elles ne correspondent pas encore à des structures pédiques

clairement établies (et donc formées d'agrégats) mais affichent des structures massives et fondues, de textures souvent très argileuses, à l'intérieur desquelles cohabitent quelques agrégats et des débris de roche mère témoignant de l'ancienne extension de cette dernière.

Tableau 5.42 : groupes d'hoplexols attachée à des dynamiques pédogénétiques.

TYPE	Groupe	Hoplexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation...
FIV	<i>f3</i>	9	(Isa-brunichron, 82%) rhizophyse (4%), blastolite (1%), calcinite (1%), macrogravelon (1%), mésogavelon (1%), microgravelon (1%), oxydon (1%), rhizagé (1%).	<i>Hoplexols superficiels ou profonds montrant une dynamique de pédoplasation très avancée. La matrice présente encore quelques structures de la roche mère marneuse mais dans un ensemble correspondant déjà à un sol.</i>
	<i>f7</i>	5	(Isa-vertichron, 67%), brunichron (10%) , aérophyse (4%), alté-tanolite (3%), microgravelon (3%), microgravelon sableux (3%), rhizophyse (3%), oxydon (2%), calcinite (1%), macrogravelon (%), mésogavelon (1%), pardichron (1%).	<i>Hoplexols profonds montrant une dynamique de pédoplasation avancée qui conduit progressivement à la mise en place d'un sol vertique. La matrice présente encore quelques structures de la roche mère marneuse mais dans un ensemble correspondant déjà à un sol.</i>
	<i>f11</i>	9	(Isaltérite, 62%) , brunichron (9%), aérophyse (4%), pardichron (4%), alté-tanolite (4%), rhizophyse (3%), microgravelon sableux (3%), mésogavelon (2%), alté-tassikérite (1%), appumite (1%), blastolite (1%), isa-brunichron (1%), oxydon (1%), rhizagé (1%).	<i>Hoplexols profonds apparaissant sur tanolite marneux lorsque celui-ci se situe à proximité d'un affleurement gréseux ou entre différentes couches de grès peu éloignées les unes des autres. Seuls quelques fantômes de la roche mère subsistent dans une structure fondue qui se rapproche progressivement d'un sol (argilification.).</i>
	<i>f21</i>	4	(Entaféro-brunichron, 56%), brunichron (19%) , aérophyse (6%), mésogavelon (6%), microgravelon (5%), rhizophyse (3%), macrogravelon (2%), calcinite (1%), concholite (1%), rhizagé (1%), tafé-brunichron (1%).	<i>Hoplexols profonds sur le glacis d'Abdeladim (Q2). Leur origine colluviale leur confère un caractère lessivé, mais ces hoplexols affichent une dynamique qui conduit à la concentration des argiles probablement liées à une pédoplasation limitée du substrat marneux ou kéritique sous-jacent.</i>
	<i>f30</i>	3	(Brunichron, 62%) isaltérite (14%) , microgravelon (5%), aérophyse (5%), rhizophyse (5%), macrogravelon (3%), mésogavelon (2%), oxydon (2%), rhizagé (2%), coprumite (1%).	<i>Hoplexols médians et profonds présents uniquement sur les talus de Kamech, marqués par des processus similaires à ceux de f29, moins soumis à l'ablation et où les processus de pédoplasation semblent plus actifs (transformation plus avancée de la roche mère marneuse en sol que dans le cas précédent).</i>

En outre, compte tenu des conditions imposées par le milieu (climat, topographie, nature du substrat.) les processus en jeu (argilification, hydrolyse, calcification, brunification, vertisolisation...) conduisent à la mise en place de *sols* aux caractères différents. Ainsi, les différents groupes définis lors de traitements numériques affichent des arrangements variés et présentent parfois des composantes antagonistes d'une entité à l'autre. Malgré ce fait il n'est pas aberrant de les rassembler dans un même type puisque la dynamique dans laquelle ils s'inscrivent est toujours la même.

Développés la plupart du temps en profondeur (lorsque le milieu le permet) et toujours au contact de l'infraplexion, l'ensemble des hoplexols concernés par ces phénomènes répondent de dynamiques hydriques globalement similaires, impulsés par la présence et la stagnation temporaire de l'eau, qui conduisent à l'altération chimique de la roche mère et au remaniement sur place des matériaux issus de celle-ci. A l'heure actuelle ces phénomènes sont peu actifs et progressent au ralenti du fait de l'important déficit hydrique des régions concernées. Cependant les traces qu'ils laissent dans le paysage sont de très bons indicateurs sur le passage de l'eau dans le milieu. Ils suggèrent ainsi l'idée d'un cheminement plus ou moins en profondeur et d'une présence sur une période suffisante pour mettre en œuvre les divers processus qui conduisent à la différenciation de ces hoplexols.

Enfin, la faible occupation de l'espace par ces hoplexols laisse supposer que le renouvellement des structures pédiques n'est pas assuré actuellement. De ce fait, les processus érosifs qui mènent à leur démantèlement ne sont pas compensés par de nouveaux *apports* ce qui laisse supposer à un amoindrissement (certes relativement lent, mais continu dans le temps) de l'épaisseur des sols. Ce propos ne pourra cependant être confirmé ou infirmé que par la lecture des cartes des segments de paysages et des multiples dynamiques auxquelles elles renvoient.

V.2.5.2.e - Les accumulations d'origine non-colluviales (formes d'altération des roches dures).

Le cinquième type d'hoplexols défini rapproche 31 enveloppes de la géosphère réparties dans trois groupes et essentiellement présentes sur Kamech (seulement deux hoplexols figurent sur Abdeladim et un seul sur El Hnach).

A l'instar du groupe FI, les hoplexols du type FV répondent de processus d'altération de la roche mère, à cela près qu'ils se développent sur des roches dures, de nature essentiellement gréseuse. Les formes que l'on observe ressemblent à s'y méprendre à des accumulations sableuses colluviales épaisses (sauf pour l'unique hoplexol formant le groupe f28' qui fait figure d'exception du fait de la taille des éléments qu'il englobe). Toutefois leur position dans les paysages (toujours situés sur des points hauts) et le substrat sous-jacent (affleurement de grès) ne laisse planer aucun doute quant à leur origine : les dynamiques qui conduisent à leur formation sont liées à l'altération *géochimique* de la roche mère. Il semble que les processus en jeu s'établissent en profondeur. La circulation de l'eau au contact de la roche mère provoque une *hydrolyse totale*, c'est-à-dire réalisée en l'absence de matières organiques et donc sans acidification de l'eau par des acides humiques (Duchaufour, 2001). Celle-ci entraîne l'élimination des minéraux les plus solubles (a priori le ciment calcaire liant les grains de quartz) et ne laissant en place que les éléments ne pouvant être dégagés par éluviation : les sables (Duchaufour, 2001)... En outre des traces d'argiles néoformées - probablement des smectites du fait de l'existence d'une saison sèche prononcée (Stahr, 1994) - témoignant de l'éluviation incomplète des bases dissolues et de leur recombinaison avec les oxydes de fer, ainsi que des formes nébuloïdes d'oxydation prennent place dans cette matrice.

Les processus à l'œuvre pour former ce type de *sol* fonctionnent encore à l'heure actuelle. A ce titre, ils laissent supposer le passage et la rétention temporaire de l'eau. En outre, les phénomènes d'éluviation laissent supposer un important drainage hypodermique qui conduit à évacuer l'eau latéralement, limitant ainsi les remontées capillaires et les pertes en eau par évaporation. Dans le cas contraire, il est probable que les argiles néoformées ainsi que des formes diffuses de concentration des calcaires s'inscriraient dans ces hoplexols.

Tableau 5.43 : les accumulations minérales d'origine altéritiques sur substrat régolique.

TYPE	Groupe	Hoplexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation...
FV	f6	6	(Brunichron psammitique, 71%) microgravelon sableux (10%), aérophyse (5%), rhizophyse (4%), régo- isaltérite (3%), grumorphize (2%), mésogavelon (2%), rhizagé (2%), bulborhize (1%), calcinite (1%), macrogravelon (1%), microgravelon (1%), brunichron (1%).	Hoplexols superficiels à profonds marquant une dynamique d'altération très avancée d'une roche mère gréseuse. Il ne subsiste de cette dernière qu'une accumulation relative de sable à l'endroit où autrefois existait un régolite... Ce phénomène, très localisé spatialement traduit des dynamiques hydriques tout à fait originales !
	f28	24	(Brunichron, 42%) microgravelon sableux (19%), brunichron psammitique (19%), aérophyse (5%), rhizophyse (5%), mésogavelon (3%), rhizagé (2%), appumite (1%), bulborhize (1%), grumorphize (1%), macrogravelon (1%), oxydon (1%).	Hoplexols supérieurs à médians développés sur des affleurements gréseux... Ces hoplexols résultent de dynamiques altéritiques très avancées qui conduisent progressivement au démantèlement des bancs de grès pour ne laisser à la place qu'un tas de sable peu cohérent mais peu soumis à l'érosion hydrique (pas de pertes significatives de matériaux.).
	f28'	1	(Brunichron, 16%), macrogravelon (55%), tafékérite (10%), rhizophyse (7%), aérophyse (5%), coprumite (4%), oxydon (2%), hydrophyse (1%).	Hoplexol profond établi sur un substrat conglomératique à ciment calcaire (sorte de brèches) marqués par une présence en grande quantité de cailloux de taille diverses et de restes de croûtes calcaires résistantes... Les dynamiques qui conduisent à sa mise en place sont proches de celles utiles à la différenciation des hoplexols du groupe f28.

Enfin, du fait de leur faible cohésion et de leur position dans le paysage (sur des versants pentus ou des sommets relatifs), ces hoplexols devraient théoriquement subir une ablation importante. Toutefois, les épaisseurs qu'ils représentent dans le milieu permettent d'affirmer que les processus responsables de leur formation ne sont pas concurrencés outre mesure par ceux causant le départ des sédiments sableux. Précisons à ce propos que la majorité des sédiments érodés en ces lieux se déposent souvent à proximité de leur point d'origine... Ils entraînent à ce titre la mise en place des hoplexols présentés dans le groupe f25 appartenant à FII.

V.2.5.2.f - Les formes de concentration du calcaire dans les sols.

Le sixième type d'hoplexol répertorié regroupe seulement 15 enveloppes de la géosphère. Celles-ci, rassemblées dans 6 groupes d'hoplexols renvoient à des dynamiques liées au phénomène de concentration du calcaire dans les sols. A ce titre, elles se rapprochent nettement des hoplexols de l'infraflexion. Toutefois, leur caractère composite ainsi que la présence de matériaux tels que le brunichron fait que leur positionnement dans cet hoplexion n'est pas problématique.

Tableau 5.44 : groupes d'hoplexols caractérisés par des concentrations de calcaire dans les sols.

TYPE	Groupe	Hoplexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation ...
FVI	f10	1	(Tassikérite, 71%), brunichron (10%) , rhizophyse (10%), aérophyse (7%), calcinite (1%), rhizagé (1%).	Hoplexol superficiel caractérisé par une croûte calcaire résistante peu altérée mais fortement fissurée et développant des sols bruns dans les fissurations (verticales et latérales) ... Il s'agit peut-être d'une erreur de placement lors de la définition, in situ, des hoplexions !
	f14	2	(Entaféro-brunichron, 42%) tassi-brunichron (40%) , microgravelon sableux (5%), mésogavelon (2%), coprumite (2%), rhizophyse (2%), rhizagé (2%), calcinite (1%), concholite (1%).	Hoplexols profonds développés dans un contexte colluvial et marqués par une induration progressive des structures pédiques du fait de la concentration des carbonates dissous pas le lessivage oblique... Conduit probablement à la néo-formation d'une croûte calcaire continue et résistante (ou vestige d'une ancienne dynamique non-active actuellement du fait de conditions climatiques peu favorables.).
	f16	2	(Alté-tassikérite, 42%), entaféro-brunichron (20%) , brunichron (13%), rhizophyse (11%), aérophyse (8%), calcinite (4%), rhizagé (4%).	Hoplexols superficiels à dynamique mixte (colluviale et non colluviale), marqués par une part importante de croûte calcaire altérée. Les processus d'altération varient entre les deux hoplexols : soit une altération chimique qui conduit à un ramollissement du tassikérite soit une dynamique mécanique (fragmentation et pénétration racinaire).
	f17	5	(Tafékérite, 24%) brunichron (28%) , entaféro-brunichron (25%) , aérophyse (8%), rhizophyse (6%), calcinite (4%), rhizagé (3%), macrogravelon (1%).	Hoplexols superficiels d'origine colluviale ou non, marqués par une forte concentration de tafékérite... Ces ensembles traduisent une dynamique avancée de concentration des calcaires dans les sols et forment, au final, un néo-encroûtement...
	f18	1	(Entaféro-brunichron, 78%) alté-tafékérite (15%) , aérophyse (5%), humite (1%), rhizophyse (1%).	Hoplexol superficiel caractérisé par un encroûtement calcaire compact mais peu résistant et discontinu. Cet hoplexol correspond probablement (de part sa nature et sa position dans le milieu) à un encroûtement en cours de formation...
	f22	5	(Entaféro-brunichron, 61%), calcinite (22%) , aérophyse (6%), rhizophyse (6%), rhizagé (3%), alté-tassikérite (1%).	Hoplexols colluviaux médians, très lessivés et marqués par de très fortes concentrations en calcinite laissant penser à une dynamique conduisant progressivement à la formation d'un encroûtement calcaire...

Les groupes définis renvoient tous à des processus globalement similaires plus ou moins anciens, plus ou moins achevés et parfois en cours de démantèlement ce qui se traduit inéluctablement par des diagnostics différents. Ainsi, les formes tassikéritiques correspondent à des croûtes calcaires anciennes très dures et les formes tafékéritiques renvoient à des encroûtements de texture moins crayeuse, cohérents mais peu résistants, pouvant se développer parfois sur plusieurs mètres d'épaisseur. Entre ces deux orthotypes se distinguent de nombreux intergrades très intéressants pour l'analyse des cheminements de l'eau dans le milieu. Les formes *alté-* notamment connotent l'idée d'une dégradation mécanique (fragmentation...) ou chimique (ramollissement, perte de cohésion...) du matériau d'origine

qui conduit progressivement à son démantèlement ou à sa transformation. Les intergrades avec des matériaux tels que le brunichron supposent au contraire l'idée d'un matériau en cours de formation dont les composantes envahissent une matrice de nature différente.

En outre les hoplexols prenant place dans ce type, de part leur nature composite (dans le sens où ils associent des matériaux appartenant à des hoplexions différents), semblent correspondre à des fronts d'altération, de pédoplasation développés sur des substrats de calcaires précipités. Ils n'apparaissent d'ailleurs que dans des géons de nature kéritique et à ce titre on ne les retrouve que sur les glaciers d'El Hnach et d'Abdeladim.

Il va de soi que l'eau est une fois de plus à la base de la différenciation de ces hoplexols. Toutefois, nous n'en dirons pas plus pour l'instant. En effet, les ensembles les mieux définis et les plus remarquables en terme de dynamique apparaissent dans l'infraplexion. Les phénomènes responsables de leur mise en place sont donc présentés dans ce dernier hoplexion... Notons simplement pour le moment que, du fait de la compaction des hoplexols, de la profondeur à laquelle ils apparaissent et de la faible macroporosité qu'ils affichent, l'eau y arrive en quantité réduite, et y chemine lentement. Elle n'y est cependant jamais stockée très longtemps. Aucune nappe même temporaire ne semble d'ailleurs exister dans ces ensembles.

V.2.5.2.g - Les sols développés dans les affleurements calcaires.

Le tableau 5.45 permet de présenter le septième type d'hoplexols. Celui-ci n'affiche qu'un seul groupe ne contenant que trois hoplexols. Malgré cette apparente sous-représentation, les formes auxquelles ce type d'hoplexols renvoie méritent d'être signalées. En effet, certaines d'entre-elles occupent des portions d'espace très importantes, notamment sur le revers du relief de commandement d'El Hnach.

Ce type décrit donc des hoplexols développés sur des affleurements calcaires, qu'il s'agisse de bancs isolés et peu épais ou d'ensembles plus puissants et structurant le relief. Ils résultent de l'altération chimique du substrat d'origine sous l'action conjointe des axes racinaires et des infiltrations d'eau. Il semble que les processus d'altération soient dans ce cas essentiellement liés à la présence de matières organiques utiles à l'acidification de l'eau par adjonction de gaz carbonique. Ils sont d'ailleurs tout à fait typiques des phénomènes de détérioration des affleurements calcaires et répondent de processus tels que la dissolution et la corrosion. Les sols formés dans ces ensembles semblent suivre les anciens réseaux de diaclases, élargis à l'extrême par la dissolution de la roche mère. Celle-ci est d'ailleurs souvent incomplète et de nombreux blocs peu altérés et de taille imposante subsistent, entourés par des matériaux pédiques issus des argiles de décalcification.

Tableau 5.45 : Les sols dans les affleurements calcaires.

TYPE	Groupe	Hoplexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation ...
FVII	f13	3	<i>(Brunichron, 45%) alté-régo-lite (32%), rhizophyse (11%), aérophyse (6%), rhizagé (2%), humite (1%), pardichron (1%).</i>	<i>Hoplexols superficiels et médians développés sur régo-lite calcaire (El Hnach Q1 et Q4) quelque soit la dimension de l'affleurement marqués par une dégradation avancée du régo-lite, sous l'action (probable) des racines, qui conduit progressivement à la mise en place d'un sol brun dans les réseaux de diaclasses élargies.</i>

L'eau suit donc un cheminement vertical particulier puisqu'elle s'infiltre principalement dans les sols intercalaires perméables et évite au contraire les blocs résiduels. Mais finalement, ce n'est pas de ce point de vue que ce type est intéressant. D'ailleurs s'il ne s'agissait que de cela, sa sous-représentation spatiale aurait conduit à l'incorporer dans un autre type.

Son principal intérêt est qu'il permet de caractériser les milieux détruits par l'homme présentés dans le paragraphe précédent. De ce point de vue, son extension spatiale et son impact sur le ruissellement sont considérables. L'eau doit suivre un cheminement vertical complexe au travers d'un vaste réseau de blocs de régolite anguleux et de sols mélangés.

La perturbation engendrée par l'homme a permis de passer d'écoulements de surface rapides accentués par un faible taux d'infiltration à des écoulements de surface très lents et complexes et pratiquement inexistants. Ce secteur à l'origine fortement contributif (impluvium peu perméable) au ruissellement global s'est alors transformé en un espace ne contribuant pas ou très peu (sauf en cas d'événements extrêmes) aux flux globaux mesurables à l'exutoire de ce bassin versant.

V.2.5.2.h - Les sols bruns colluviaux très lessivés.

Le huitième type d'hoplexols présenté regroupe quelques 108 hoplexols répartis sur les trois bassins versants mais essentiellement présents sur Abdeladim. Il se divise en deux groupes (*f19* et *f19'*) très largement déséquilibrés.

Les hoplexols inscrits dans ces ensembles occupent généralement l'ensemble du profil pédologique. Ils correspondent à des sols colluviaux anciens et compacts. Ils affichent un caractère limoneux du fait de l'intense lessivage qu'ils subissent et d'une structure massive ne laissant entrevoir aucun agrégat clairement défini. Ces hoplexols caractérisent essentiellement les sols des *glacis d'érosion* (Coque, 1977) où ils se développent parfois sur plusieurs mètres d'épaisseur. Ils englobent parfois des éléments pierreux de petite taille aux arrêtes émoussées.

Tableau 5.46 : Les sols colluviaux.

TYPE	Groupe	Hoplexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation...
FVIII	<i>f19</i>	103	(Entaféro-brunichron, 78%), aérophyse (7%), rhizophyse (4%), mésogavelon (2%), bulborhize (1%), concholite (1%), macrogavelon (1%), microgavelon (1%), microgavelon sableux (1%), rhizagé (1%).	Hoplexols superficiels à profonds lessivés, affichant une banalité notoire traduisant des dynamiques colluviales généralisées. A ce titre ils se retrouvent essentiellement sur les glacis d'Abdeladim et d'El Hnach.
	<i>f19'</i>	5	(Entaféro-brunichron, 69%), aérophyse (7%), rhizophyse (6%), microgavelon (4%), appumite (3%), isaltérite (3%), rhizagé (3%), mésogavelon (2%), calcinite (1%).	Hoplexols superficiels lessivés, d'origine colluviale sur le piémont d'Abdeladim... De même nature globale que <i>f19</i> , ce groupe d'hoplexols s'en distingue par un enrichissement en matières organiques dégradées ainsi que par une densité racinaire plus importante, liée à une végétation pérenne établies dans cet ensemble.

Les propriétés physico-chimiques des sols constitutifs de ces glacis d'accumulation, ainsi que la structure qu'ils affichent, les rendent extrêmement battants en surface et très favorables au ruissellement (diffus ou en nappe selon l'intensité de la pluie) d'autant plus que leur profil longitudinal régulier ne présente pas d'obstacles majeurs. Ils sont d'ailleurs très fortement

corrélés au type *TXI* du métaplexion strict. De plus, ils ne semblent pas propices à retenir de l'eau en profondeur et même si des traces telles que des précipitations de calcaire témoignent de son passage éphémère.

Enfin, il est important de signaler que lorsque le ruissellement se concentre et qu'il parvient à s'encaisser dans le glacis d'accumulation, la rigole qui se forme atteint des proportions considérables pouvant s'encaisser de plusieurs mètres dans les sols. Les lits mineurs ressemblent alors à de petits canyons aux parois verticales. L'encaissement se propage en général jusqu'à ce que l'oued ainsi formé atteigne le substrat marneux de l'infraplexion, qui peut se trouver parfois à plus de 15 mètres de la surface normale de l'ensemble. De forme globalement rectiligne, ces lits mineurs s'élargissent par sapement puis effondrement de berges et remontent rapidement vers l'amont du glacis. Riahi (2005) a montré par comparaison diachronique d'images aériennes que ces remontées pouvaient atteindre une vitesse assez rapide : de l'ordre de plusieurs dizaines de mètres de longueur en une trentaine d'années... Ces lits mineurs s'établissent dans l'axe de la pente. Ainsi, du fait de la forme concentrique du glacis, tous convergent vers une confluence commune localisée à l'amont de la retenue collinaire. Hormis ces phénomènes hydriques et érosifs, aucun processus actif utile à la transformation des matériaux ne transparait de ces hoplexols. Il se peut toutefois qu'une quelconque action intervienne mais celle-ci ne peut pas être identifiée car elle ne laisse aucune traces tangible dans le milieu.

V.2.5.2.i - Les sols colluviaux à caractère vertique.

Le neuvième type d'hoplexol présenté rassemble 44 hoplexols, tous inscrits dans le paysage de Kamech, répartis dans trois groupes de taille inégale. Ces hoplexols présentent des caractéristiques structurales et hydriques proches de celles du type *FIII*, la principale différence résidant entre ces deux types étant que l'un répond d'une dynamique de vertisolisation et se forme donc en place tandis que l'autre répond de mouvements colluviaux le long des versants et se forme par accumulation. Toutefois, il n'est pas rare de voir les hoplexols de *FIX* surmonter des hoplexols de type *FIII* dans un même profil. Lorsque cela arrive, ce phénomène connote d'une dynamique profonde qui conduit à produire de nouveaux sols vertiques protégés par des sols plus anciens d'origine allochtone.

Légèrement lessivés et affichant des formes d'entassement sans litages, ces hoplexols sont généralement très homogènes et connaissent des mouvements vertiques. Ils présentent par conséquent une importante fissuration en période sèche. De ce point de vue, leurs caractéristiques hydrodynamiques sont similaires à ceux de *FIII*. Leur principale originalité, et la raison de leur différenciation, réside du fait de leur position dans le milieu naturel, généralement dans les parties médianes ou en aval des versants, ils sont plus propices à accueillir des nappes d'eau temporaires. A ce titre, le groupe *f23* est un exemple caractéristique de ce phénomène. En effet, les deux hoplexols de ce groupe se placent dans un contexte déjà maintes fois décrit dans cette thèse : celui des bas-fonds humides. La nappe d'eau qui s'y trouve est autant liée à la capacité de rétention capillaire du sol qu'au contexte topographique et géologique dans lequel ils s'inscrivent. A une échelle plus petite, les hoplexols du groupe *f26* répondent des mêmes phénomènes. La portion d'espace dans laquelle ils s'inscrivent étant plus vaste, les processus semblent exacerbés et la nappe d'eau se maintient pratiquement toute l'année. Elle est d'ailleurs utilisée par l'homme comme en témoigne la présence d'un puits.

Tableau 5.48 : Groupe d'hoplexols rassemblant des sols vertique colluviaux.

TYPE	Groupe	Hoplexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation ...
FIX	f27	30	(Entaféro-vertichron, 78%) aérophyse (6%), rhizophyse (4%), oxydon (2%), alté-tanolite (1%), appumite (1%), grumorhize (1%), macrogravelon (1%), mésogavelon (1%), microgravelon (1%), blastolite (1%), rhizagé (1%).	Hoplexols supérieurs à profonds, composés de sols vertiques peu lessivés et d'origine colluviale... Ces hoplexols peu diversifiés sont aussi les plus communs sur le bassin versant de Kamech.
	f23	2	(Entaféro-vertichron, 55%) microgravelon (11%), mélanumite (8%), grumorhize (5%), mélanu-appumite (5%), rhizophyse (4%), rhizagé (4%), macrogravelon (3%), appumite (2%).	Hoplexols colluviaux superficiels peu lessivés affichant des sols vertiques contenant une forte part de graviers de petite taille apparaissant dans les bas-fonds humides de Kamech et marqués par une tendance à la dégradation très avancée des composantes nécrophytiques (dégradation sous l'action de l'eau).
	f26	12	(Entaféro-vertichron, 81%) hydrophyse (4%), aérophyse (3%), rhizophyse (3%), microgravelon (2%), oxydon (2%), appumite (1%), macrogravelon (1%), blastolite (1%), mésogavelon (1%), rhizagé (1%).	Hoplexols colluviaux superficiels et profonds, peu diversifiés mais permettant le maintien d'une nappe d'eau temporaire, rechargée à la saison des pluies et pouvant être utilisée sur une grande partie de l'année... En certains lieux (aval de KAM Q5), cette nappe d'eau est utilisée par l'homme (présence d'un puit.).

Malheureusement, une explication plus complète de ce phénomène ne peut être réalisée maintenant puisqu'elle nécessite de prendre en compte l'ensemble du milieu et de s'intéresser aux successions spatiales qui s'y inscrivent. Par conséquent, cela sera abordé lors de la cartographie des segments de paysages. Retenons simplement pour l'instant que d'un point de vue hydrodynamique les hoplexols de ce type permettent la rétention d'eau en quantité et que du point de vue du ruissellement, ils affichent les mêmes caractéristiques que ceux du type FIII.

V.2.5.2.j - Brunification est sols bruns en place.

Le dixième type d'hoplexols se divise en deux groupes et rassemble un total de 110 hoplexols également répartis sur les trois bassins versants. Ces hoplexols occupent généralement la totalité du métaplexion dans les profils où ils apparaissent. Plus ou moins épais en fonction du contexte topographique ou géomorphologique dans lequel ils s'inscrivent, ces sols résultent de pédogenèses anciennes développées sur substrat tanolique décalcifié. La brunification, principal moteur de leur mise en place, entraîne en fonction du milieu deux formes différentes.

La première de ces formes correspond à des sols bruns affichant de gros agrégats polyédriques se développant essentiellement sur le bassin d'El Hnach, au niveau de la quatrième toposéquence. Très épais dans ces ensembles et peu différenciés, ils sont

partiellement lessivés mais contiennent encore d'importantes parts d'argiles. Ils se retrouvent également, sous une forme légèrement différente entre certaines alternance grès / marnes constitutives des talus de Kamech. Ils se placent dans ce paysage en sommet de talus lorsque ces derniers sont peu pentus. Ils atteignent alors des épaisseurs importantes et sont marqués par un enrichissement relatif en matières organiques. En outre, ils ne subissent pas de phénomènes d'éluviation.

Tableau 5.49 : Les sols bruns en place.

TYPE	Groupe	Hoplexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation...
FX	f31	40	(Brunichron, 61%), rhizophyse (10%), aérophyse (8%), macrogravelon (6%), mésogavelon (4%), rhizagé (2%), alté-tassikérine (2%), appumite (1%), calcinite (1%), gigagravelon (1%), grumorhize (1%), humite (1%), microgravelon (1%).	<i>Hoplexols supérieurs à profonds, peu contrastés et présents sur les trois bassins versants, notamment lorsque la couverture végétale est suffisante... A ce titre ce groupe rassemble la majorité des sols forestiers d'Abdeladim... Les nombreux cailloux présents correspondent plus à des reliquats d'altération de la formation géologique sous-jacente que les processus de formation des sols n'ont pas dégradés, qu'à des transports colluviaux qui auraient conduit à leur accumulation en ces lieux.</i>
	f32	70	(Brunichron, 77%), aérophyse (8%), rhizophyse (6%), mésogavelon (2%), microgravelon (2%), calcinite (1%), macrogravelon (1%), rhizagé (1%).	<i>Hoplexols superficiels à profonds, peu diversifiés et en place... ce groupe d'hoplexols se trouve présent sur les trois bassins versants...</i>

La seconde forme s'apparente plutôt à des rendzines. Développés essentiellement sur les fortes pentes des reliefs structuraux du bassin versant d'Abdeladim (mais présents sur les trois bassins versants lorsque les couvertures végétales sont suffisantes), ces sols peu épais affichent une structure constituée d'agrégats plus petits et plus arrondis. Ces sols moins achevés contiennent également une part plus importantes de graviers et de cailloux. Notons d'ailleurs que les pavages décrits dans le métaplexion inférieur (T) sont à mettre directement en relation avec les hoplexols du groupe f31.

Du point de vue des dynamiques hydriques, peu de traces permettent de supposer le passage de l'eau dans ces ensembles. Toutefois leur structure laisse penser à une macroporosité importante favorable à l'infiltration. En revanche ils ne semblent pas pouvoir garder longtemps l'eau qui est évacuée soit latéralement par drainage isoclinal soit par évaporation et évapotranspiration.

V.2.5.2.k - Sols et mouvements de masse.

Enfin, le dernier type présenté (FXT) ne rassemble que 4 hoplexols d'El Hnach et accessoirement 1 de Kamech (qui correspond en terme de composition mais diffère d'un point de vue de la dynamique globale). Ces hoplexols, séparés dans deux groupes renvoient à des processus très particuliers : ils s'inscrivent dans le cadre des mouvements de masse qui caractérisent les versants de la troisième toposéquence d'El Hnach.

Tableau 5.50 : Les mouvements de masse.

TYPE	Groupe	Hoplexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation ...
FXI	<i>f12</i>	2	(Isa-entaféron, 50%), brunichron (13%) , aérophyse (11%), rhizophyse (11%), gigagravelon (8%) , alté-tassikérite (4%), pardichron (2%), rhizophyse (2%), appumite (1%), calcinite (1%), oxydon (1%).	Hoplexols profonds et complexes sur versant soliflués et stabilisés... Les matériaux déplacés lors des mouvements de terrain subissent actuellement une transformation sous l'action de l'eau (reprise de la pédoplasation, dégradation chimique des gigagravelon...).
	<i>f15</i>	3	(Gigagravelon, 39%), entaféro-brunichron (22%) , brunichron (15%), aérophyse (9%), rhizophyse (7%), macrogravelon (4%), calcinite (2%), rhizagé (1%).	Hoplexols médians, d'origine colluviale ou non, marqués par la présence de gros blocs pierreux aux arêtes émoussées. Les processus sont soit similaires à ceux de f12 soit liés à la dégradation très avancée d'un régolite sous l'action chimique de l'eau...

Du point de vue de leur composition, ces hoplexols présentent des matériaux de nature diverse, toujours liés à des formes de colluvionnements non hydriques tels que la solifluxion. Il résulte de ces processus une association de composantes de la géosphère de taille et de nature diverses, sans *ordre* véritable : des éléments tels que des gros blocs gréseux, des sols en place, des sols colluviaux marqués par une reprise des processus de pédoplasation, des traces de nécrophytion (branchages et troncs), des éléments tanoliques... tout cela se mêle et se juxtapose dans le profil vertical.

Ces profils semblent d'ailleurs stabilisés actuellement, du moins en ce qui concerne les points mesurés sur le transect Q3 (des distinctions latérales sont en effet à signaler car des mouvements plus récents affectent encore une partie des versants). En effet, les marques laissées par la reprise de la pédogenèse ainsi que celles traduisant de l'altération des blocs gréseux montrent des processus de transformation de la matière qui ne peuvent apparaître que sur une période suffisamment longue pour laisser le temps à l'eau (entre autres) de changer les matériaux. Les traces laissées par ces processus témoignent d'ailleurs d'une probable rétention d'eau temporaire dans ces sols.

V.2.5.3 - Les types d'hoplexols du métaplexion inférieure.

Tableau 5.51 : tableau de synthèse présentant les types de sols retenus de l'analyse.

TYPE	Les formes rencontrées dans le milieu	Les dynamiques évolutives (lors de la mise en place des hoplexols)	Bilan de l'eau et de la matière
FI	Les hoplexols d'altération avancée de la roche mère mais qui ne sont pas encore des sols... Présents sur Kamech et El Hnach, ces hoplexols se développent en profondeur (au contact de l'infraplexion) sur un substrat de roches tendres.	Dynamiques d'altération (et de pédoplasation) active, à un stade encore peu avancé. Ces hoplexols se forment par altération (sous l'action de l'eau et des racines) de la roche mère marneuse qui se fragmente très finement pour donner un aspect particulière sans structures pédiques apparentes.	Infiltration, stockage, remontées (capillaires et racinaires) et drainage isoclinal. Dans un ensemble assez imperméable peu poreux mais peu cohérent Transformation de la matière (système d'altération).

Tableau 5.51 (suite) : tableau de synthèse présentant les types de sols retenus de l'analyse.

TYPE	Les formes rencontrées dans le milieu	Les dynamiques évolutives (lors de la mise en place des hoplexols)	Bilan de l'eau et de la matière
FII	<i>Les accumulations sableuses (colluviales) dans les sols... En aval de certains affleurements gréseux de Kamech et sur le glacis d'Abdeladim. La répartition verticale et latérale est variable, mais fortement dépendante des contraintes topographiques (actuelles mais aussi présentes lors de leur mise en place pour les plus profonds.).</i>	<i>Dynamiques colluviales anciennes entraînant la mobilisation, la migration et le dépôt de sédiments grossiers (sables et parfois graviers) sur de plus ou moins longues distances. Les accumulations en place (structure particulière) résultent d'une rupture de la capacité de transport du fait de la topographie ou des couvertures végétales en place à l'époque de leur formation.</i>	Infiltration, stockage, remontées (capillaires et racinaires) et drainage isoclinal... Dans des ensembles grossiers, relativement poreux et peu cohérents parfois associés à une nappe temporaire... Accumulations sableuses et lessivage des particules plus fines (argiles et limons).
FIII	<i>Les sols vertiques en place... Présents uniquement sur le bassin versant de Kamech. Lorsqu'ils sont présents, ces hoplexols occupent la quasi-totalité de l'hoplexion, lui conférant un aspect monotone où seules les macro-fissures, se refermant en profondeur, varient de manière significative.</i>	<i>Dynamiques de pédoplasation et pédogenèse ancienne (vertisolisation). (établies sur un substrat plutôt basique), sous un climat chaud et humide (à alternance saisonnière contrastée), ont mené à la formation de sols à comprenant une part importante d'argiles gonflantes. Sous le climat actuel, ces formes héritées évoluent vers des vertisols brunifiés. Elles sont en outre soumises à des mouvements vertiques (alternance de gonflement et de retraits) qui conduisent d'une part à une homogénéisation du profil et d'autre part à la mise en place de particularités structurales (fentes de retrait).</i>	Infiltration, stockage, remontées (capillaires et racinaires) et drainage isoclinal... Variables en fonction la saison et l'état d'humectation du sol... Mouvements vertiques (retrait et gonflements).
FIV	<i>Pédogenèse et brunification, mise en place de sols bruns... Ces hoplexols (essentiellement présents sur Kamech et Abdeladim) présentent une structure proche d'une structure pédique mais dans laquelle figurent des éléments de faciès qui rappellent ceux de la roche mère marneuse.</i>	<i>Dynamiques de pédoplasation établies essentiellement dans des ensembles marneux conduisent à la mise en place progressive de structures pédiques très homogènes mais dans lesquelles peu d'agrégats sont encore présents (structure massive). De nombreuses traces d'oxydation informent sur le rôle de l'eau dans les processus en cours.</i>	Infiltration, stockage, remontées (capillaires et racinaires) et drainage isoclinal... Dans des ensembles compacts à structure fondue... Transformation de la matière (système de pédoplasation).

Tableau 5.51 (suite) : tableau de synthèse présentant les types de sols retenus de l'analyse.

TYPE	Les formes rencontrées dans le milieu	Les dynamiques évolutives (lors de la mise en place des hoplexols)	Bilan de l'eau et de la matière
FV	Les accumulations sableuses (non-colluviales) développées sur substrat gréseux... Les hoplexols concernés par ces dynamiques, essentiellement localisés sur Kamech, présentent une localisation très particulière et restreinte spatialement : ils prennent place sur les affleurements gréseux établis de part et d'autre de l'oued principal.	Dynamiques d'altération sur roche dure (substrat gréseux). Les processus en jeu sont liés la présence (au moins temporaire) et à l'action de l'eau qui conduit à dissoudre le ciment calcaire assurant la cohésion entre les grains de sables de la roche d'origine. Les éléments les plus fins sont emportés par lessivage oblique et il ne subsiste qu'un amas de sable compact mais peu cohérent (structure particulière) qui ne semble pas être soumis outre mesure à l'action ablatrice du ruissellement.	Infiltration, stockage, remontées (capillaires et racinaires) et drainage isoclinal... Dans un ensemble sableux peu cohérent et très localisé spatialement... Transformation de la matière pas dissolution des ciments calcaires (système d'altération).
FVI	Les fortes concentrations de calcaires dans le sol... Les hoplexols concernés (sur El Hnach et Abdeladim) sont très souvent présents en profondeur dans un ensemble de nature colluviale. Les formes visibles diffèrent par leur nature : croûtes résistantes et fracturées, croûtes ramollies, encroûtements plus ou moins importants, induration des sols.	Dynamique de dissolution, de précipitation et d'altération (mécanique ou chimique) des calcaires... Les processus en oeuvre utiles à la différenciation de ces hoplexols sont liés à la présence d'eau (au moins temporaire) qui entraîne un lessivage des carbonates en période humide et leur précipitation en période sèche. Les formes observées sont plus ou moins récentes, plus ou moins indurées, plus ou moins altérées, mais elles résultent toutes de processus similaires à des stades différents dans leur succession chronologique.	Infiltration, stockage, remontées (capillaires et racinaires) et drainage isoclinal... Dans des ensembles colluviaux très lessivés (localisés sur les glacis)... Transformation de la matière par concentration des calcaires dans les sols (système de précipitation).
FVII	Les sols développés sur des affleurements calcaires... Seulement quelques hoplexols d'El Hnach sont concernés par ce phénomène. Ils apparaissent dans des milieux peu développés où l'infraplexion est très proche de la surface du sol et présentent des formes particulières où se mêlent des blocs de régo-lite peu altérés et du brunichron établi dans un réseau de diaclases très élargies.	Dynamiques de pédoplas-mation et d'altération sur roche dure (substrat calcaire). Les processus en jeu sont liés l'action conjointe de l'eau et des racines qui contribuent à élargir progressivement le réseau de diaclases du régo-lite originel pour ne laisser que des blocs peu altérés isolés les uns des autres et à remanier les résidus de la dissolution (argiles de décarbonatation) pour former peu à peu des sols bruns.	Infiltration, stockage, remontées (capillaires et racinaires) et drainage isoclinal... dans des sols bruns issus développés dans un ancien réseau de diaclases (plus ou moins larges)... Transformation de la matière pas dissolution des calcaires (système d'altération) et formation de sol (système de pédoplas-mation).

Tableau 5.51 (suite) : tableau de synthèse présentant les types de sols retenus de l'analyse.

TYPE	Les formes rencontrées dans le milieu	Les dynamiques évolutives (lors de la mise en place des hoplexols)	Bilan de l'eau et de la matière
FVIII	<p><i>Les sols colluviaux (sols bruns)...</i> Ce type rassemble un très grand nombre d'hoplexols d'El Hnach et d'Abdeladim occupant souvent la totalité du métaplexion inférieur. Très lessivés, souvent limoneux et battants en surface (sur glacis et versants longs), ces hoplexols affichent une grande monotonie même si quelques nuances (concentration de matière organique, de gravelons) apparaissent épisodiquement.</p>	<p><i>Dynamique colluviales anciennes et modernes sur de grandes distances...</i> qui conduisent à la mise en place, parfois sur plusieurs mètres d'épaisseur, de sols de structure massives, très résistants et sans structure apparente. En outre, ces sols très lessivés affichent des parts d'argiles souvent faibles (dans le cas d'entaféro-brunichron notamment) et des formes de concentration des calcaires.</p>	<p>Infiltration, stockage, remontées (capillaires et racinaires) et drainage isoclinal... dans des ensembles très compacts, limoneux et peu fissurés... Accumulations limoneuses et lessivage des particules plus fines (argiles).</p>
FIX	<p><i>Les sols colluviaux (vertiques)...</i> Ce type rassemble un grand nombre d'hoplexols très monotones (à quelques exceptions près) de Kamech occupant souvent la totalité du métaplexion inférieur. Légèrement lessivée (mais affichant encore de fortes teneurs en argiles), ils affichent les mêmes caractéristiques morphologiques que FIII. En outre, Ces hoplexols permettent un stockage important de l'eau qui se traduit, lorsque les conditions topographiques et géologiques le permettent à la formation d'une nappe d'eau temporaire ou permanente.</p>	<p><i>Dynamiques colluviales anciennes et modernes sur des distances relativement courtes...</i> qui conduisent à la mise en place de sols de nature vertiques légèrement lessivés, compacts et apparemment homogènes dans lesquels apparaissent de gros ensembles (taille de l'ordre du mètre) séparés par des fentes de retrait. Ces sols colluviaux affichent une structure polyédrique bien évidente et caractérisée par des agrégats de grande taille. En milieu hydromorphe, ces sols présentent des traces d'oxydation témoignant du passage de l'eau durant un temps suffisant pour la migration des oxydes de fer.</p>	<p>Infiltration, stockage, remontées (capillaires et racinaires) et drainage isoclinal... Variables en fonction la saison et l'état d'humectation du sol. Accumulations organo-minérales (faible lessivage des argiles, mouvements vertiques et stockage de l'eau sous forme d'une nappe.</p>
FX	<p><i>Les sols bruns en place...</i> présents sur les trois bassins versants, ces hoplexols occupent la quasi-totalité du profil. Peu diversifiés, ils affichent généralement une forte teneur en argiles et se structurent soit en gros agrégats polyédriques soit en agrégats plus fins. Ils forment alors des ensembles moins cohérents et s'apparentent à une structure particulière (forêt d'Abdeladim notamment) contenant des gravelons et pouvant s'apparenter à des rendzines brunifiés.</p>	<p><i>Dynamiques de brunification et pédogenèse ancienne (brunification) ...</i> établies sur substrat bien drainés, décalcifié (mais pouvant libérer des argiles et des oxydes de fer) et en présence d'un climat tempéré. Les formes différentes résultent de processus plus ou moins achevés qui conduisent à la différenciation soit de rendzines (sous couvert forestier), soit de sols bruns.</p>	<p>Infiltration, stockage, remontées (capillaires et racinaires) et drainage isoclinal... Dans des ensembles de faible macroporosité... Matériau stable (pouvant être soumis à un départ selon l'intensité de la pluie et le système de pente).</p>

Tableau 5.51 (suite et fin) : tableau de synthèse présentant les types de sols retenus de l'analyse.

TYPE	Les formes rencontrées dans le milieu	Les dynamiques évolutives (lors de la mise en place des hoplexols)	Bilan de l'eau et de la matière
FXI	Les mouvements de masse... Seuls quelques hoplexols d'El Hnach (Q3) correspondent à ce type. Les matériaux rencontrés sont de nature diverses : éléments rocheux hétérométriques (du gravier au bloc de taille métrique) aux arêtes émoussées, éléments en cours de transformation chimique (sols en formation), éléments pédiques (sols bruns). Tous ont subi un grand chamboulement lors d'un important mouvement de terrain si bien que tout est "sens dessus dessous"	Dynamique de solifluxion généralisée à l'ensemble d'un versant (actuellement partiellement stabilisé)... résultent d'une saturation en eau qui a entraîné la liquéfaction du sol d'origine. Les hoplexols relevés présentent un état ancien et apparemment stable de ce processus mais des observations latérales (non relevées) montrent que cette dynamique est toujours active sur ce versant. En outre, la présence de traces d'altération chimique des roches et des matériaux meubles montrent que des processus de transformation de la matière sont à l'oeuvre actuellement.	Infiltration, stockage, remontées (capillaires et racinaires) et drainage isoclinal... dans des sols instables mais sur un versant à priori stabilisé... Mouvements de masse et solifluxion mobilisant les matériaux de manière brutale mais les déplaçant sur de courtes distances, transformation de la matière (système d'altération, de pédoplasation.)

Tableau 5.52 : comportement hydrodynamique des types de sols...

Liste des abréviations : *In* - Infiltration ; *Sk* - Stockage (rétention d'eau) ; *Rm* - remontée capillaire par évaporation (et évapotranspiration) ; *Di* - Drainage isoclinal ; *Tm* - Transformation de la matière (altération, pédogenèse...) ; *Co* - Colluvionnement ; *Le* - Lessivage (éluviation). Les signes "+", "-", "+" et "--" correspondent à une interprétation des dynamiques réalisée à la fois en fonction de la composition moyenne de chaque type d'hoplexol (composantes du milieu naturel, structure des composantes, densité et répartition...) mais aussi en fonction des différences de comportement supposées entre ces différents types... A ce titre, et même si aucune mesure de flux n'y est réalisée, ils permettent une première comparaison entre les ensembles définis.

TYPE	<i>In</i>	<i>Sk</i>	<i>Rm</i>	<i>Di</i>	<i>Tm</i>	<i>Co</i>	<i>Le</i>
FI	-	+	+	-	++	--	--
FII	++	++	+	++	--	++	+
FIII	++ à --	++ à --	+	+	--	--	+
FIV	-	-	--	-	++	-	--
FV	-	+	+	++	++	--	++
FVI	+	-	++	++	++	+	--
FVII	++	--	-	+	++	--	--
FVIII	--	--	++	-	--	++	++
FIX	+ à -	++	-	+	-	+	--
FX	++	-	+	+	-	--	-
FXI	++	++	-	-	+	++	--

Ce quatrième paragraphe permet la définition et l'analyse des types de sols dans les paysages étudiés. Ainsi, les 424 hoplexols repérés sur le terrain se rangent dans 11 types en fonction de leurs caractéristiques morphologiques et des dynamiques qu'elles mettent en évidence. Cette approche permet également de supposer, du fait des marques laissées dans les paysages, le cheminement que l'eau suit dans le milieu naturel, les lieux où celle-ci réside temporairement

et ceux où son passage entraîne des transformations remarquables du milieu naturel. Il nous reste désormais à analyser le dernier hoplexion pour que la typologie des hoplexols soit complète. Notons d'ores et déjà que ce dernier ensemble est fondamental en terme d'organisation du milieu dans les paysages sédimentaires car les principaux changements qui y surviennent conditionnent l'ensemble des arrangements paysagiques ainsi que les actions que l'homme pourra entreprendre dans ces espaces.

V.2.6 - Les types d'hoplexols de l'infraplexion.

L'analyse de l'infraplexion repose sur une table de contingence comportant 379 hoplexols décrits par 26 diagnostics primaires. Les analyses réalisées permettent la mise en évidence de 18 groupes correspondant à autant de formations géologiques « superficielles ». Ces analyses se déroulent de la même manière que les précédentes, à savoir : une première étape permettant de dégager les différents groupes d'hoplexols utiles à la compréhension et à l'explication des arrangements du milieu naturel et de ses dynamiques puis une seconde étape de regroupement manuel des ensembles définis en vue de décrire des types d'organisations... Là encore deux points sont abordés. Le premier précise les différentes étapes des traitements numériques et le second présente les groupes et les types d'hoplexols obtenus.

V.2.6.1 - Les traitements numériques de l'infraplexion (I).

La première série de traitements porte donc sur la table de contingence complète. Le graphique des inerties (figure 5.29) montre qu'une rupture significative est réalisée dès F2. Cependant, une seconde rupture apparaît en F12. Celle-ci laisse penser que le nombre d'axes à retenir ne peut se limiter aux deux premiers axes factoriels. Ainsi, il semble que c'est entre ces deux bornes que le nombre d'axes intéressants pour l'analyse doit être établi.

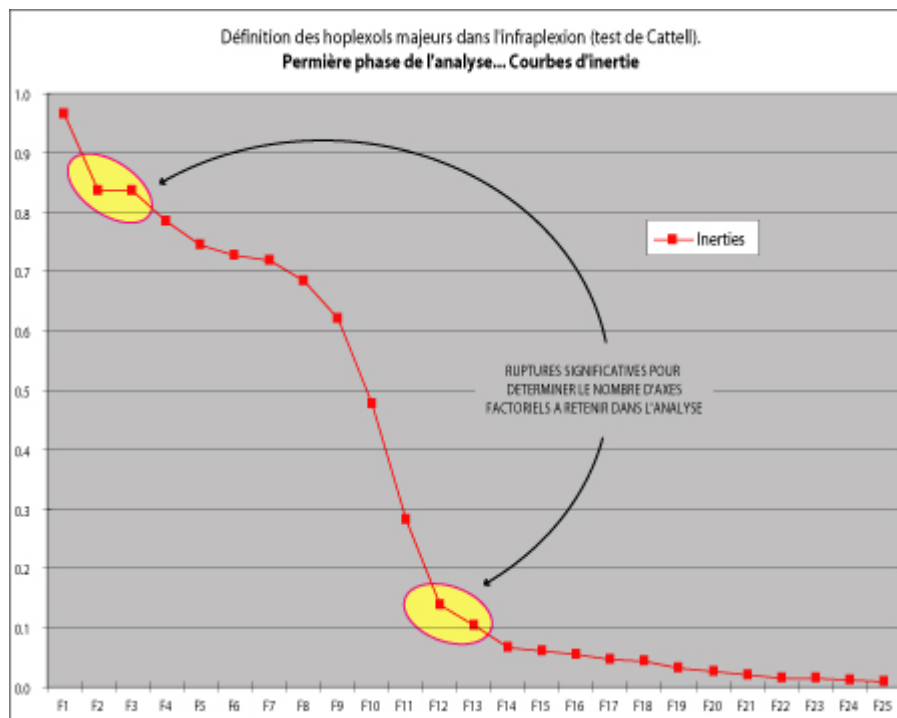


Figure 5.29 : Inerties et nombre d'axes à retenir pour l'analyse.

Quoi qu'il en soit, la structure de la table de contingence permet de simplifier considérablement l'analyse. En effet, il est rare que les diagnostics primaires de l'infraplexion se trouvent mélangés comme cela peut l'être pour les autres hoplexions : leur organisation dépend de la structure lithologique ce qui par conséquent limite considérablement les mélanges de matériaux et cloisonne parfaitement les différents types qui peuvent ressortir. Ainsi, hormis quelques très rares cas, les hoplexols de l'infraplexion se regroupent clairement et simplement. Il n'est par conséquent pas nécessaire de prendre en compte l'ensemble des axes indiqués par le test de Cattell.

La première phase des traitements repose sur une série d'AFC portant sur les axes F1 à F4 (figure 5.30) puis sur une CAH sur les axes F5 et F7 (le plan factoriel décrit par ces deux axes mettant mieux en évidence les diverses organisations que les plans F5-F6 ou F6-F7). Il ressort de cette première étape 4 groupes parfaitement définis ainsi que trois ensembles pour lesquels il est nécessaire de réaliser des analyses secondaires pour mieux distinguer les divers processus qui s'y déroulent.

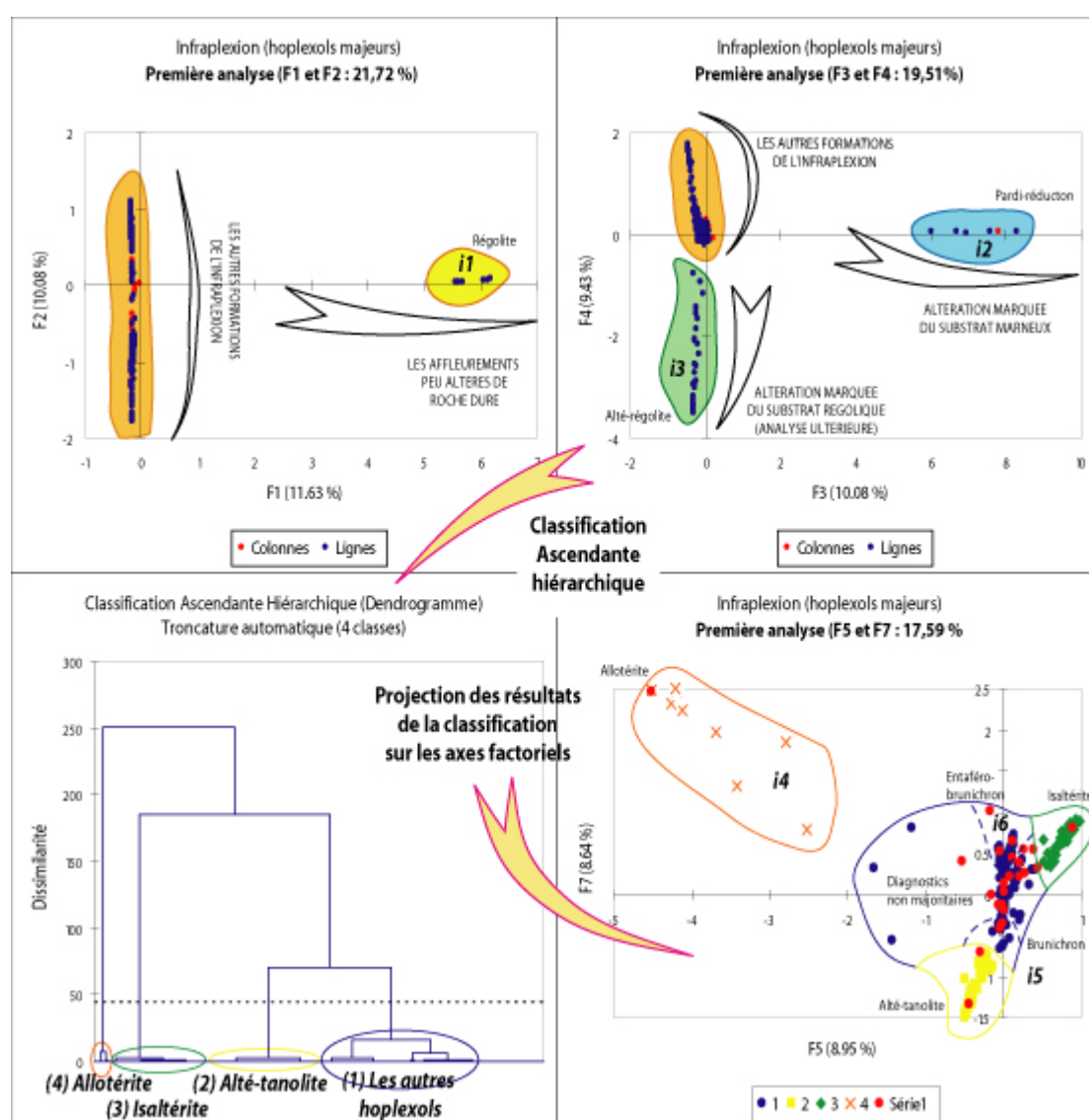


Figure 5.30 : Les premiers groupes d'hoplexols de l'infraplexion.

Sur le premier axe factoriel, une seule variable apparaît et se détache nettement du reste des hoplexols : le régolite peu altéré se distingue avec une contribution absolue de 97,4 %. Ce

diagnostic primaire est en outre uniquement lié à cet axe comme le montre sa contribution relative de 1 (la variable est placée sur l'axe et n'entre dans la définition d'aucun autre axe factoriel...). Le premier groupe ainsi établi, noté *i1* rassemble 10 hoplexols généralement profonds qui témoignent d'un arrêt des processus d'altération et de la pénétration racinaire. Ces hoplexols, de par leur position dans le milieu correspondent à la catapause, c'est-à-dire la limite entre la géosphère et la lithosphère saine. Ils occupent des portions d'espace souvent réduites, qui se limitent à la largeur des affleurements calcaires ou gréseux sur lesquels ils s'établissent.

Tableau 5.53 : Coefficients d'inertie des variables principales sur l'axe F2.

Variable	Contribution absolue	Contribution relative
Isaltérite	27%	40%
Tassikérite	17%	20%
Alté-tanolite	12%	18%
Alté-tassikérite	12%	16%
Tafékérite	6%	8%
Alté-récolite	7%	8%
Brunichron	5%	10%

Le second axe factoriel montre une répartition singulière des hoplexols et des variables qui les caractérisent. Tous sont *parfaitement* alignés le long de l'axe et aucun ensemble ne se détache du groupe ainsi formé. En effet, même si 90 % de l'inertie de l'axe est expliquée par 7 variables (tableau 5.53), les faibles contributions relatives indiquent qu'aucune d'entre elles ne prend réellement le dessus pour former un groupe à part entière. Cet axe nous renseigne toutefois sur les principales variables explicatives de l'organisation de l'infraplexion. Même si aucun groupe ne se détache clairement, il est certain que ces diagnostics primaires sont à la base des différents types qu'il est possible d'identifier dans cet hoplexion...

Le troisième axe factoriel (figure 5.30) met en évidence le second groupe d'hoplexols retenu dans l'infraplexion. Centré autour du pardi-réducton (contribution = 95,5 % ; cosinus carré = 97,1 %) ce groupe rassemble 5 hoplexols de Kamech et 2 hoplexols d'Abdeladim et permet de définir une dynamique d'altération géochimique de la roche mère gréseuses. Les hoplexols concernés (du moins ceux de Kamech) se placent dans le prolongement des dynamiques d'altération présentées dans le métaplexion intérieur (type FV).

Le quatrième axe factoriel oppose la variable alté-récolite (contribution = 75,5 % ; cosinus carré = 81,9 %) à tous les autres diagnostics primaires de l'infraplexion. Le groupe ainsi formé (*i3*) rassemble 28 hoplexols également répartis sur Kamech et El Hnach. Ce groupe correspond à une autre dynamique d'altération sur roche dure qui s'oppose à celle mise en évidence par le groupe *i2* : les résidus d'altération ainsi que le passage et l'action de l'eau sont très différents entre eux.

Au-delà de ce quatrième axe factoriel, il est nécessaire d'avoir recours aux Classifications Ascendantes Hiérarchiques pour distinguer les différents groupes qui y prennent place. Etablies sur les coordonnées principales des individus projetés sur les axes F5 et F7, la CAH fait ressortir trois ensembles qui témoignent tous de processus d'altération sur une roche mère tendre mais qui affichent des matériaux différenciés en fonction de l'avancement de ces processus. Ainsi, il est possible d'isoler le groupe *i4* centré autour de l'allotérite (groupe rassemblant 13 hoplexols) et deux ensembles regroupant 94 et 100 hoplexols respectivement

décrits par l'alté-tanolite et l'isaltérite. Néanmoins, compte tenu que ces deux ensembles rassemblent un grand nombre d'hoplexols, ils ne forment pas de groupes à part entière et nécessitent des traitements dans des tables de contingences séparées pour faire ressortir les différents processus en jeu.

Enfin, un quatrième ensemble se distingue également. Il correspond aux diagnostics non majoritaires dans l'analyse et fait également l'objet d'un traitement séparé dont le but est d'établir les groupes d'hoplexols représentés par les différentes variables qui s'y inscrivent. Toutefois, afin de simplifier ces traitements, trois sous-ensembles distincts sont identifiés manuellement. Ainsi, 90 hoplexols représentant différentes formes de croûtes et encroûtements calcaires apparaissent (ils font l'objet de traitements statistiques séparément de l'ensemble) ainsi que deux groupes originaux dans l'infraplexion (puisque dépendant normalement du métaplexion inférieur) : *i5* regroupant 15 hoplexols autour du brunichron et *i6* rassemblant 22 hoplexols autour de l'entaféro-brunichron. Ces deux groupes ne font pas l'objet de traitements particuliers et sont donc retirés de la table de contingence afin de ne pas perturber les traitements sur les kérités. Il est vrai que la méthode employée pour différencier *i5* et *i6* est quelque peu barbare puisqu'elle repose uniquement sur une lecture et un tri de la table de contingence. Cependant, distinguer ces groupes par traitement statistique aurait nécessité de nombreuses étapes pour obtenir le même résultat. Aussi ce choix est réalisé dans le simple but de simplifier les traitements et ne pas alourdir d'avantage ce chapitre déjà fort long et quelque peu rébarbatif (mais ô combien nécessaire).

La première phase des traitements statistiques s'arrête donc ici. Elle permet de distinguer 6 groupes d'hoplexols parfaitement délimités et trois ensembles plus complexes qui méritent d'être étudiés séparément. La table de contingence d'origine est donc reformulée pour former trois tables qui donnent lieu à leurs propres traitements statistiques.

La seconde phase des traitements s'appuie sur trois tables de contingence pour établir les derniers groupes d'hoplexols de l'infraplexion. La première table comporte 82 lignes et 21 variables. Représentée dans la figure 5.31, les traitements qu'elle permet de réaliser sont utiles à la définition de trois groupes d'hoplexols dans un ensemble majoritairement composé d'alté-tanolite. La seconde table de contingence (96 lignes * 21 colonnes) fait ressortir les différences majeures au sein d'un ensemble majoritairement composé d'isaltérite (figure 5.32) et enfin la troisième table de contingence s'appuie sur 90 lignes décrites par 19 variables. Elle permet de caractériser trois groupes supplémentaires (figure 5.33) dans un ensemble majoritairement kéritique (croûtes et encroûtements calcaires).

A partir des traitements réalisés sur le premier sous-ensemble dégagé de la phase initiale des traitements, 5 groupes d'hoplexols peuvent être mis en évidence (figure 5.31). L'analyse qui permet leur distinction s'établit en deux phases. **Ainsi, sur F1 et F2** les coefficients d'inertie des diagnostics *alté-réolite* (sur F1, contribution = 95,7 % ; cosinus carré = 96,8 %) et *tafékérîte* (sur F2 contribution = 90,1 % ; cosinus carré = 92,5 %) permettent de dégager deux groupes particuliers comportant chacun un unique hoplexol. Malgré une très forte sous-représentation, ces deux groupes renvoient à des singularités du milieu naturel qu'il est important de relever ici. En effet, le groupe *i7* correspond à une forme d'altération du tanolite marneux lorsque celui-ci se trouve entre deux affleurements de réolite très proches spatialement (dans le cas d'une alternance très rapide de type grès / marnes) et le groupe *i8* correspond à une forme d'encroûtement très profonde et partiellement accomplie inscrite dans le tanolite. Ce groupe est d'ailleurs assez significatif des dynamiques hydriques, la forme verticale des concentrations calcaires indiquant les chemins suivis préférentiellement par l'eau dans la roche mère.

Compte tenu de la forme du nuage de point sur le plan factoriel F1-F2, **il est impératif de prendre en compte F3 et F4** pour la définition de groupes d'hoplexols supplémentaires. Les

traitements réalisés, basés sur une CAH effectuée sur les coordonnées principales des individus projetés sur F3 et F4, mettent en évidence 3 groupes d'hoplexols supplémentaires qui traduisent un état d'altération différent du substrat marneux.

Le premier groupe défini (*i9*) rassemble 6 hoplexols mêlant de l'alté-tanolite et de l'isaltérite montre les formes les plus avancées de l'altération géochimique avec une disparition presque totale de la structure de la roche mère dans certains axes préférentiels (pénétration racinaire...).

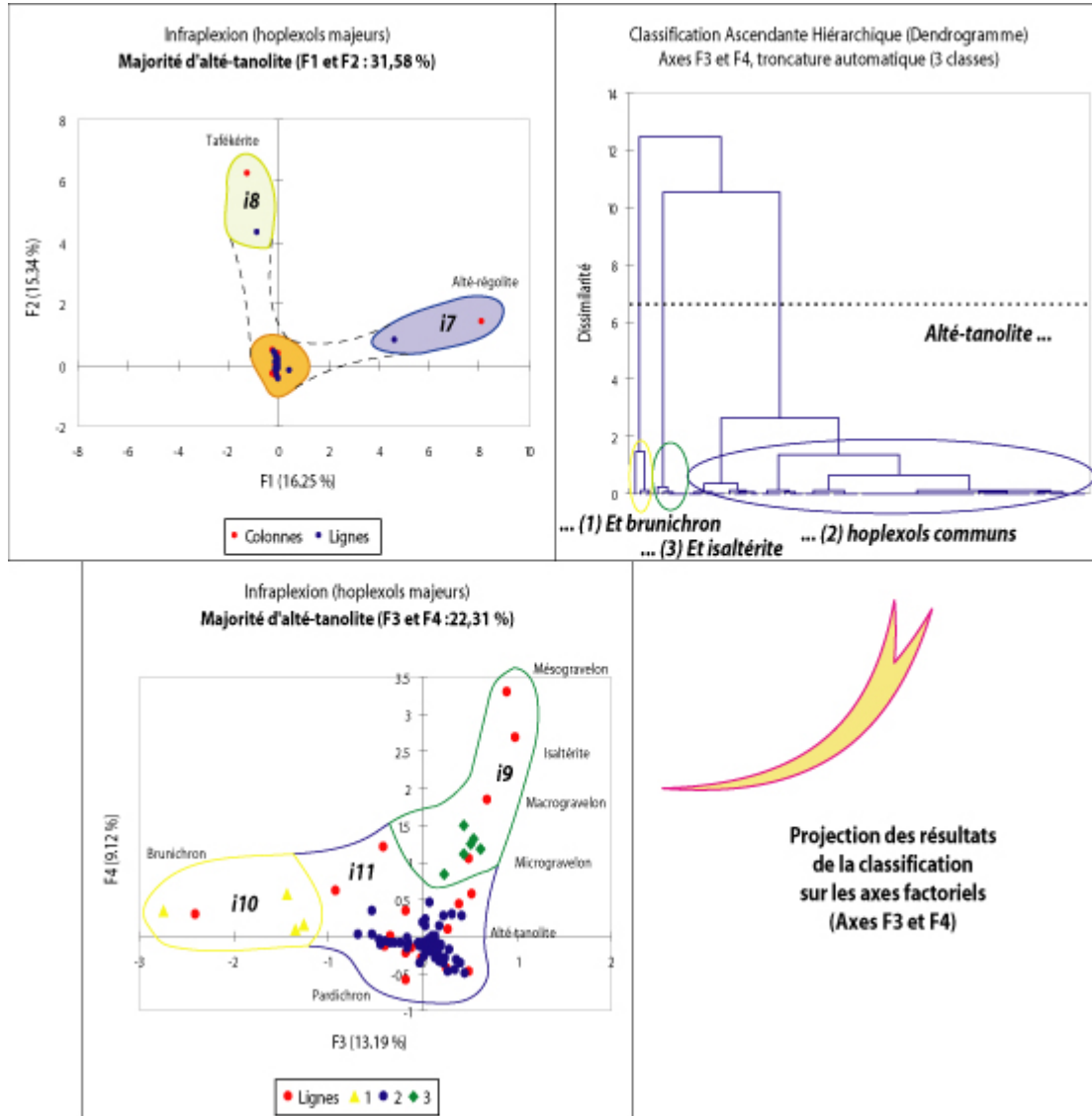


Figure 5.31 : Les différentes formes de l'alté-tanolite marneux.

Le second groupe (*i10*) présente 4 hoplexols mélangeant Alté-tanolite et brunichron. Il montre ainsi le stade ultime de la transformation du substrat marneux en *sol* avec le dégagement des premières structures pédiques (dans l'absolu, il apparaît dans le temps *après* les hoplexols du groupe *i9*).

Et enfin le groupe *u11* rassemble 72 hoplexols associant l'alté-tanolite avec du pardichron. Il montre ainsi les formes les moins altérées du tanolite mais indique que des processus sont déjà à l'œuvre pour changer le matériau d'origine.

L'analyse de la seconde table de contingence se déroule de la même manière que la précédente : dégagement des particularités sur F1 et F2 puis définition des groupes sur F3 et F4 par classification numérique. Les résultats de ces traitements sont présentés en figure 5.32. Le plan factoriel F1-F2 fait là encore apparaître deux particularismes spatiaux et dynamiques. Le premier repose sur la présence d'alté-réolite au sein d'un ensemble isaltéritique. Très fortement corrélé à F1, l'alté-réolite (contribution = 88,7 % ; cosinus carré = 98,9 %) permet d'isoler 3 hoplexols qui répondent aux mêmes critères spatiaux que pour l'hoplexol définissant le groupe *u7* (figure 5.31) à cela près que le tanolite marneux de l'inter strate est présent sous une forme beaucoup plus altérée. Les hoplexols sont à ce titre tous rassemblés dans le même groupe noté *u7*. Le second particularisme apparaît sur l'axe F2 et montre la présence d'un encroûtement dans un ensemble isaltéritique... Ainsi, la variable tafékérite apparaît avec une contribution absolue de 87,2 % pour une contribution relative de 94,0 %. Témoinnant des mêmes processus que ceux apparaissant sur la figure précédente (concentration des calcaires), l'unique hoplexol inscrit sur cet axe est rattaché au groupe *u8*. Etant donné la distribution des points sur le plan factoriel F1-F2, aucun autre groupe ne peut être délimité. Il est donc nécessaire d'étendre l'analyse aux deux axes suivants pour faire ressortir les autres entités figurant dans ce second sous-ensemble. Ainsi, la CAH réalisée sur les coordonnées principales des individus projetés sur les axes factoriels F3 et F4 permet la mise en évidence de 4 groupes d'hoplexols supplémentaires. Ces différentes entités renvoient à des états plus ou moins avancés de l'altération géochimique du substrat marneux. Notons d'ailleurs que les différences constatées apparaissent dans une matrice qui à la base est déjà plus altérée que dans le sous-ensemble précédent (en toute logique l'isaltérite succède dans le temps à l'alté-tanolite...). Ainsi, le groupe *u12* (comportant seulement 5 hoplexols) montre le stade le plus avancé puisqu'il associe des matériaux altéritiques à des structures pédiques (brunichron). Les groupes *u13* et *u14* figurent des ensembles à l'intérieur desquels subsistent encore des traces de roche mère peu altérée ou des formes de concentration des oxydes de fer résultant de cette altération (*u13* rassemble 4 hoplexols autour du couple pardichron / isaltérite et *u14* regroupe 26 hoplexols définis par le couple alté-tanolite / isaltérite). Enfin, le dernier groupe apparaissant au cours de cette phase du traitement rassemble 61 hoplexols largement dominés par une matrice uniformément altéritique.

Pour terminer, le dernier ensemble abordé correspond à des hoplexols établis sur les paysages d'Abdeladim et d'El Hnach, quelle que soit la nature du substrat sous-jacent (bien que la majorité d'entre eux se placent sur des roches tendres). Ils correspondent aux différentes formes de précipitation des calcaires rencontrées dans le milieu.

Les traitements réalisés sur les 90 hoplexols de la table de contingence sont plus simples que dans les cas précédents. En effet, le test de Cattell montre que la majeure partie de l'inertie du nuage de points est expliquée par les deux premiers axes factoriels (figure 5.33). Par conséquent, seul le premier plan factoriel est utilisé pour délimiter les différents groupes d'hoplexols.

La méthode utilisée permet de mettre en évidence trois groupes d'enveloppes de la géosphère différenciés en fonction du type de formation existant et/ou de l'état de cette formation. Ainsi, le groupe *i16* qui se distingue principalement sur F1 (et qui s'oppose aux deux autres) rassemble 23 hoplexols majoritairement présents à l'amont des deux toposéquences d'Abdeladim et à l'amont du glacier d'érosion de la première toposéquence d'El Hnach. Caractérisés par le tassikérite, ces hoplexols correspondent à des croûtes anciennes, très résistantes et principalement développées lorsque le milieu est peu épais.

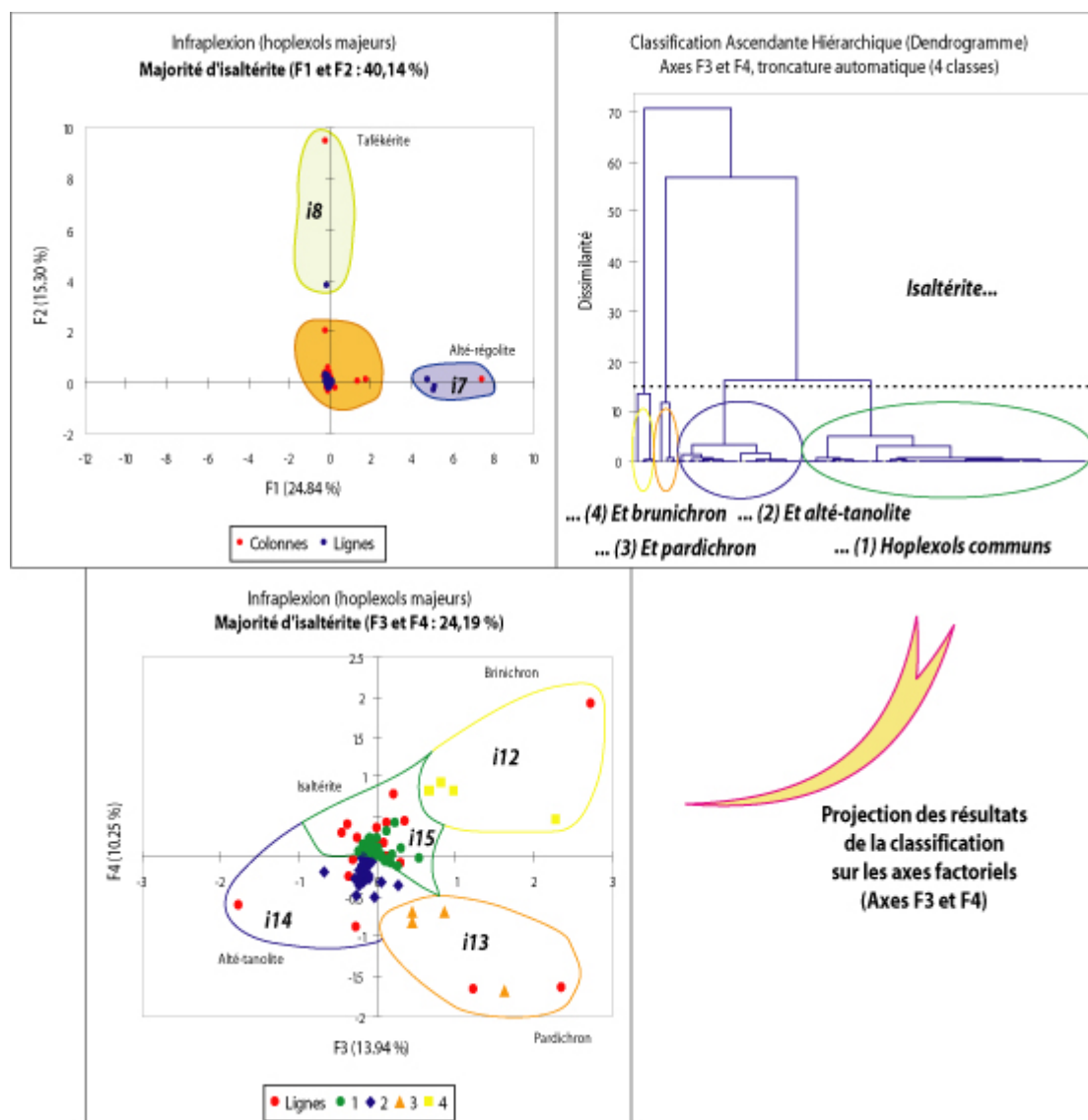


Figure 5.32 : La différenciation des formes dans l'isaltérite marneux.

Cette première entité s'oppose, au niveau de la dureté, aux deux ensembles qui apparaissent sur l'axe F2. En effet, les groupes *i17* et *i18* correspondent à des formations ayant perdu leur dureté ou moins indurées dès le départ. Ainsi, *i17* correspond à la version altérée de *i16*. Les 44 hoplexols qui prennent place dans cet ensemble sont très largement majoritaires dans ce type de formation. Ils apparaissent lorsque les croûtes résistantes se placent sous un ensemble colluvial suffisamment épais pour favoriser un maintien de l'eau en profondeur. Quelques éléments d'explication viendront dans la suite de ce chapitre.

Enfin, le groupe *i18* rassemble 23 hoplexols correspondant cette fois à des encroûtements calcaires. Ceux-ci se caractérisent par des ensembles cohérents et résistants, mais relativement peu indurés. D'aspect crayeux, ces formations peuvent s'établir sur des épaisseurs considérables selon la nature du substrat (en général un tanolite marneux). De nature différente des tassikérites, ils se retrouvent généralement plus en profondeur que ces derniers et pourraient correspondre (mais cela reste à démontrer) aux premières formes de concentrations continues de calcaire précipité. Toutefois la chronologie n'est pas clairement définie, ni d'après les observations réalisées sur le terrain, ni d'après ce qu'il est possible de trouver comme références bibliographiques.

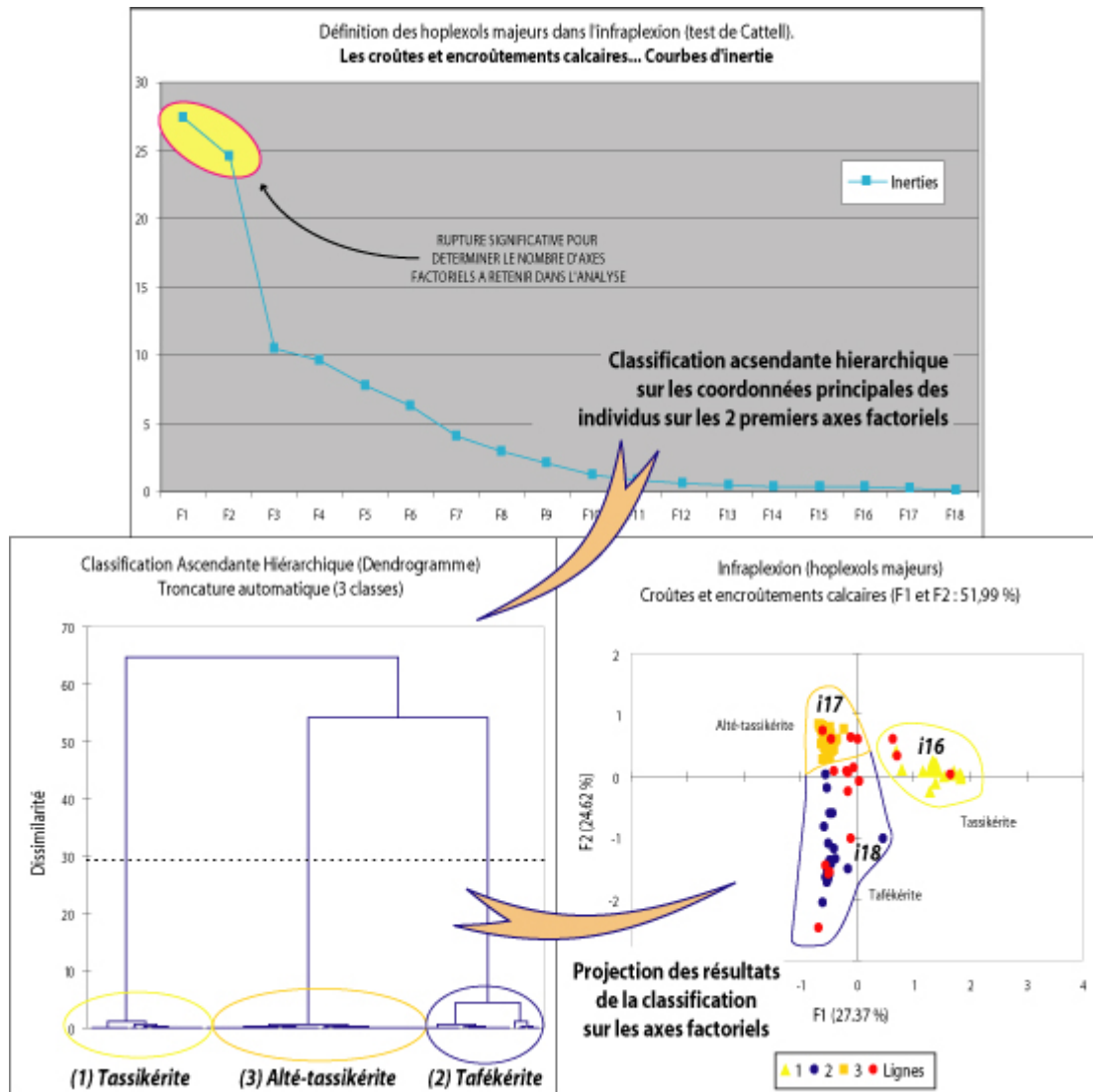


Figure 5.33 : Les croûtes et encroûtements calcaires.

Ainsi s'achèvent les traitements numériques permettant d'établir les différents groupes d'hoplexols de l'infraplexion. Il apparaît très clairement que ceux-ci sont relativement plus simples que ceux effectués sur le métaplexion dans son ensemble. Cela est tout à fait logique puisque finalement il n'existe que peu de différences d'un point de vue géologique entre les trois paysages. De plus les processus en jeu dans l'infraplexion, notamment ceux responsables de la transformation de la matière, ne varient pas beaucoup également. De ce fait peu de particularismes apparaissent et les formes observées occupent des portions d'espace souvent importantes. Voyons maintenant quels sont les types qu'il est possible de distinguer au sein de cet ensemble ainsi que les phénomènes qui sont responsables de leur formation.

V.2.6.2 - Les groupes d'hoplexols de l'infraplexion.

Les traitements numériques réalisés sur les 379 hoplexols de l'infraplexion permettent de dégager 18 groupes différenciés sur le plan de la composition et des dynamiques auxquelles ils renvoient. Ces groupes autorisent la définition de 9 grandes tendances qui définissent autant de types utiles à la classification finale. L'objectif de ce second point du paragraphe V.2.6 est de présenter plus précisément ces types d'hoplexols ainsi que les éléments d'explication sur l'organisation et les dynamiques du milieu naturel dans l'infraplexion.

Comme dans les cas précédents, chaque type est détaillé en fonction des grandes tendances dans lesquelles chacun des groupes (et des types) mis en évidence par les traitements numériques s'inscrivent.

V.2.6.2.a - Les formes d'altération des roches dures (gréseuses et calcaires).

Ce premier ensemble permet de préciser les différents milieux et les processus qui prennent place lorsque le substratum lithologique se compose de roches dures. Deux types (InI et InII) prennent place dans cette partie de l'analyse. Ils se distinguent en fonction de la nature des roches qui les caractérisent ainsi que du contexte climatique dans lequel ils s'inscrivent (notamment pour Kamech qui se trouve doté d'un climat plus humide que ses homologues de Tunisie centrale). Mais c'est surtout leur position dans le milieu et le système de pente dans lesquels ils prennent place qui déterminent les différences les plus remarquables et les plus fondamentales.

Ainsi le premier type retenu (tableau 5.55), noté InI représente des affleurements gréseux ou calcaires pas ou peu altérés. Souvent en contact avec l'air libre (majoritairement *i1*) ou inscrit dans des milieux peu épais (majoritairement *i3*), il se caractérise par un substrat rocheux encore intact dans lequel les processus d'altération mécanique et chimique existent mais n'entraînent pas profondes transformations de la matière : l'eau circulante au contact de la roche couplée à l'action des axes racinaires entraîne une dissolution particulière des roches, soit de manière superficielle, soit plus en profondeur par le biais du réseau de diaclases. Les sols qui s'y établissent sont liés à la décarbonisation par lixiviation des éléments corrodés sur le substrat rocheux (et accumulés années après années) et résultent d'un remaniement des éléments insolubles tels que les minéraux silicatés et les oxydes de fer (Duchaufour, 1970 ; Campy & Macaire, 1989 ; Lozet & Mathieu 1997). Il se forme ainsi une sorte de *terra rossa* bien que les processus de rubéfaction semblent très incomplets... Leur couleur, leur texture et leur structure rappellent d'ailleurs plus celle d'un sol brun ou d'une rendzine que celle d'une véritable *terra rossa*.

Tableau 5.55 : Les roches pas ou peu altérées.

TYPE	Groupe	Hoplexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation...
InI	<i>i1</i>	10	(Régolite, 97%) Aérophyse (1%), brunichron (1%), rhizophyse (1%)	<i>La roche mère (gréseuse ou calcaire) très peu altérée... A la limite entre la géosphère et la lithosphère (catapause...)</i>
	<i>i3</i>	28	(Alté-réglolite, 76%), brunichron (10%) , aérophyse (5%), microgravelon (2%), rhizophyse (2%), calcinite (2%), alté-tanolite (1%), réglolite (1%).	<i>Dynamiques d'altération (biochimique ?) des roches dures (gréseuses et calcaires) et pédogenèse limitée dans les réseaux de diaclases peu élargies...</i>

Les hoplexols de ces groupes apparaissent dans des milieux bien drainés, généralement sur des pentes marquées. Ils occupent des portions d'espace variables selon qu'ils s'établissent sur des bancs de roches isolés ou en alternances rapides roches dures / roches tendres mais toujours de faible puissance (les affleurements ne mesurent alors que quelques centimètres à

quelques dizaines de centimètres d'épaisseur) ou sur des unités plus vastes telles que le relief structural présent sur la première et la seconde toposéquence d'El Hnach.

Tableau 5.56 : Les roches dures très altérées (transformation de la matière).

TYPE	Groupe	Hoplexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation...
InII	i2	7	(Pardi-réducton, 71%) macrogravelon (7%), microgravelon (6%), calcinite (4%), mésogavelon (3%), aérophyse (2%), alté-tanolite (2%), pardichron (2%) , brunichron (1%), rhizophyse (1%), tassikérite (1%).	<i>Les dynamiques d'altération géochimique sur substrat gréseux... mise en place d'un pseudogley à phase sableuse et persistances d'éléments grossiers peu ou pas altérés.</i>

Le second type que l'on est amené à considérer (tableau 5.56), noté InII dans la typologie, s'inscrit également sur des affleurements de roches dures mais plus spécifiquement sur des affleurements gréseux. Il apparaît souvent en position dominante dans le paysage, lorsque le banc de grès correspond à un sommet relatif, c'est-à-dire non susceptible de subir un drainage isoclinal en provenance de parties plus en amont dans le paysage. La nature du matériau qui le compose correspond trait pour trait à un pseudogley. Celui-ci résulte de l'altération, sur place, des grès sous-jacents du fait du mauvais drainage que leur caractère imperméable implique. Sa présence dans le milieu laisse d'ailleurs présager l'existence d'une nappe d'eau temporaire (présente en hiver) liée à une absence d'évacuation verticale de l'eau. L'eau stagnante entraîne la dissolution du ciment calcaire liant les grains de quartz de la roche ainsi que leur recombinaison pour former une masse argileuse de structure fondue contenant une forte teneur en sables. En outre, durant les périodes humides (phase anaérobiose) le fer contenu dans ces argiles est solubilisé et migre sur de courtes distances puis, au cours de la saison sèche (phase aérobie), si cette dernière est suffisamment longue, le fer précipite à nouveau du fait de sa réoxydation complète (Duchaufour, 1970). Il résulte de ces phénomènes un matériau où alternent des taches rouges ou ocres, riches en fer ferrique et des taches grises ou beiges contenant une fraction très limitée (et parfois inexistante) de fer à l'état ferreux (Campy & Macaire, 1989).

Ces phénomènes sont très limités spatialement. Ils apparaissent seulement en quelques points du paysage, situés soit en rive droite du bassin versant de Kamech où ils s'inscrivent au sommet de collines correspondant au cinquième type de facettes topographiques (chapitre IV), soit sur quelques talus (facettes topographiques de type 3) développés en rive gauche. Leur faible extension spatiale conduit à penser que l'impact des chemins de l'eau qu'ils mettent en évidence est négligeable en terme de contribution globale au flux hydrique. Toutefois, ce second type d'infraplexion renseigne sur une propriété fondamentale des affleurements, dont l'impact est considérable à l'échelle du bassin versant : leur caractère imperméable favorise le maintien de nappes temporaires plus conséquentes lorsqu'ils prennent place dans un thalweg (où ils correspondent alors à des cluses, mais nous verrons cela en temps voulu)... Ils sont ainsi à la base de la formation des bas-fonds humides de la rive gauche (relevés sur la seconde toposéquence) et des nappes d'eau plus conséquentes révélées sur la cinquième toposéquence de ce paysage. Leur impact en terme de dynamique hydrique est donc considérable puisqu'ils conditionnent, au moins pour partie l'arrêt des écoulements hypodermiques et limitent ainsi le flux global à l'exutoire du bassin versant.

V.2.6.2.b - Les formes d'altération des roches tendres (marneuses).

Trois types, témoignant d'état d'avancement différent de l'altération des roches tendres s'inscrivent ici. Tous renvoient à des formes de dégradation de la roche sous l'action de l'eau, mais ils diffèrent en fonction de l'état d'achèvement des processus (et par conséquent en terme de nature des matériaux). Les types définis lors de la typologie (InIII, InV et InVI) ne sont donc pas présentés en fonction de leur *ordre de sortie* à l'issue des traitements numériques, mais en fonction des logiques de transformation de la matière auxquels ils renvoient.

En premier lieu apparaît le type InVI. Celui-ci, défini par l'intermédiaire du tableau 5.57, décrit le premier stade de la dégradation chimique du substratum marneux. Il caractérise en fait la roche mère très peu altérée, à l'intérieur de laquelle, seulement quelques formes de concentrations des oxydes de fer apparaissent et témoignent d'une action encore limitée d'une eau circulante.

Ce premier type (InVI) décrit donc une structure à l'intérieur de laquelle les marnes affichent un faciès peu altéré. Elles représentent un ensemble certes décompacté (et facilitant le passage de l'eau), du fait d'un amoindrissement de la pression puisqu'elles se situent proches de la surface du sol (elles sont à ce titre découpées en plaquettes parallélépipédiques aux côtés anguleux), mais ne montrent pas de traces d'une quelconque transformation. Seules quelques tâches anastomosées traduisant la concentration du fer à l'état ferrique témoignent des flux hydriques pouvant circuler dans ces entités. Si quelques cas de processus plus avancés sont à signaler, ils restent très marginaux par rapport à l'ensemble et se limitent à quelques stations pour lesquelles les axes racinaires sont suffisamment bien établis pour entraîner une diversification des processus (notamment des processus pédogénétiques).

Tableau 5.57 : Les premières formes d'altération des roches tendres (marnes).

TYPE	Groupe	Hoplexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation...
InVI	i9	6	(Alté-tanolite, 68%) isaltérite (15%), oxydon (3%), aérophyse (3%), microgravelon (2%), blastolite (1%), calcinite (1%), macrogravelon (1%), mesogravelon (1%), rhizophyse (1%), rhizagé (1%).	Roche marneuse peu altérée dans l'ensemble sauf suivant certains axes (pénétration racinaire ?) dans lesquels les structures en plaquettes ont disparu laissant place à une structure fondue dans laquelle seules certaines facettes traduisent l'ancien matériau.
	i10	4	(Alté-tanolite, 48%) brunichron (33%), aérophyse (6%), oxydon (4%), rhizophyse (4%), rhizagé (2%), alté-récolite (1%), appumite (1%), tafékérine (1%).	Pédogenèse et brunification dans une matrice marneuse peu altérée... les structures pédiques se forment selon certains axes préférentiels (systèmes racinaires, diaclases facilitant le passage de l'eau...).
	i11	70	(Alté-tanolite, 81%), pardichron (5%), aérophyse (5%), rhizophyse (3%), brunichron (2%), calcinite (2%), oxydon (1%).	Roche marneuse peu altérée, parcourue par quelques traces nébuloïdes d'altération (concentration des oxydes de fer) envahissant peu à peu la matrice... Ces traces permettent un suivi très précis des chemins de l'eau dans ces hoplexols (auréoles, filets...).

Le second type décrit dans cette section (InIII) présente ce qui pourrait correspondre au second état d'avancement de l'altération des marnes. Il rassemble des hoplexols affichant un matériau considérablement ameubli par rapport au type précédent à l'intérieur desquels les traces d'altération se multiplient (tableau 5.58).

Tableau 5.58 : Les formes avancées de l'altération des marnes.

TYPE	Groupe	Hoplexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation ...
InIII	i4	13	(Allotérite, 71%), Alté-tanolite (5%) , aérophysse (4%), macrogravelon (3%), microgravelon (3%), oxydon (3%) , pardichron (2%) , rhizophysse (2%), blastolite (2%) , calcinite (2%), isaltérite (2%).	<i>Dynamique d'altération géochimique des roches tendres (marnes)... Fragmentation extrême des plaquettes et écailles originelles (structure particulière) sous l'action conjointe des systèmes racinaires et de l'eau (nombreuses traces d'oxydation...).</i>

Les marnes sont fragmentées à l'extrême. S'il est encore possible de deviner leur nature, car après tout les résidus d'altération affichent encore des éléments de la roche, leur structure originelle n'existe plus : les plaquettes parallélépipédiques ont complètement disparu et à la place, se trouvent un ensemble confus à l'intérieur duquel se mêlent des éléments fins rappelant la roche d'origine (texture et couleur) ainsi que de nombreuses traces traduisant de la concentration du fer à l'état ferrique (point de concentration des oxydes de fer). Il est évident que l'eau joue également un grand rôle dans la mise en place de ce type d'hoplexols. Elle agit d'ailleurs de deux manières différentes : soit elle contribue à dissoudre les calcaires contenus dans les marnes, soit elle entraîne l'éclatement des argiles par hydratation. Ces deux actions combinées permettent de mettre en place la structure particulière relevée. Enfin, les multiples signes d'oxydation renvoient à l'idée que cette eau ne stagne pas longtemps dans ce matériau. Les oxydes de fer ne semblent pas, en effet, migrer dans la matrice, mais plutôt se concentrer directement sur leur lieu de dissolution. Ainsi, ces oxydes ne se concentrent pas sous la forme de marbrures plus ou moins diffuses mais apparaissent de manière ponctuelle. Les nombreux points se juxtaposent les uns aux autres sans jamais se rencontrer comme cela aurait été le cas si l'eau stagnait suffisamment longtemps dans l'ensemble concerné. Remarquons toutefois que cette forte concentration de points oxydés juxtaposés peut aussi être liée à la structure de l'ensemble, non favorable à un quelconque regroupement du simple fait du manque de cohésion de la matrice altérétique.

Enfin le dernier type (InIV) décrit dans cette section renvoie aux formes d'altération les plus avancées du tanolite marneux d'origine. Les différents groupes d'hoplexols inclus dans cet ensemble sont présentés dans le tableau 5.59.

Les hoplexols concernés par ces phénomènes affichent la plupart du temps une structure massive et fondue, souvent humide, à l'intérieur de laquelle très peu d'éléments rappelant le matériau d'origine subsistent. En effet, seule la forme des plaquettes se devine encore dans les ensembles dérivés, donnant un aspect anguleux aux profils sans pour autant que ces angles soient liés à la présence d'agrégats.

Tableau 5.59 : Les formes les plus avancées de l'altération des marnes (suite en page suivante).

TYPE	Groupe	Hoplexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation...
InV	i7	4	(Isaltérite, 45%) alté-tanolite (19%), alté-régolite (18%) , oxydon (6%), macrogravelon (5%), aérophysse (4%), microgravelon (1%), pardichron (1%), rhizophysse (1%).	Altération (géochimique?) sur alternance rapide roche dure / roche tendre (grès / marnes)... de nombreuses traces d'oxydation envahissent ces matrices mixtes.
	i8	2	(Isaltérite, 33%) tafékérite (25%), alté-tanolite (23%) , rhizophysse (7%), pardichron (5%), aérophysse (5%), rhizagé (2%), macrogravelon (1%), mesogravelon (1%).	Hoplexols mixtes ou les dynamiques altéritiques (oxydation...) se partagent avec les dynamiques de concentration du calcaire (précipitation) dans une matrice présentant à la fois des tanolites peu altérés et des formes complètement fondues et modifiées de ce matériau.
	i12	5	(Isaltérite, 68%) , brunichron (13%), aérophysse (4%), microgravelon (4%), pardichron (3%), rhizophysse (3%), appumite (1%), mésogravelon (1%), rhizagé (1%).	Altération très marquée sur roche tendre et dégagement des premières structures pédiques dans un ensemble de structure massive et peu différenciée.
	i13	4	(Isaltérite, 70%) , pardichron (14%), alté-tanolite (6%), macrogravelon (4%), aérophysse (3%), blastolite (1%), calcinite (1%), oxydon (1%).	Altération avancée de la roche mère marneuse, nombreuses traces d'oxydoréduction et quelques restes visibles du matériau d'origine (pédogenèse en cours...)
	i14	23	(Isaltérite, 76%), alté-tanolite (9%) , oxydon (5%), aérophysse (3%), blastolite (1%), calcinite (1%), macrogravelon (1%), mésogravelon (1%), microgravelon (1%), rhizophysse (1%).	Altération de la roche mère marneuse, nombreuses traces d'oxydoréduction et restes visibles du matériau d'origine (pédogenèse en cours...)
	i15	60	(Isaltérite, 85%) , aérophysse (3%), microgravelon (2%), oxydon (2%), rhizophysse (2%), appumite (1%), blastolite (1%), calcinite (1%), mesogravelon (1%), hydrophysse (1%).	Altération complètement "achevée" de la roche mère marneuse... Structure massive et fondue à l'intérieur de laquelle les structures pédiques n'apparaissent pas encore. Hoplexols profonds présentant tous un état d'humidité remarquable (et associé aux processus d'altération.).

Les processus à l'œuvre sont liés à un mauvais drainage. L'eau stagnante qui occupe durant une longue partie de l'année l'ensemble des macro-pores du matériau entraîne des processus d'altération géochimique probablement par hydratation des argiles contenues dans la roche ainsi que par la dissolution et la disparition des calcaires. Les transformations qui s'opèrent n'entraînent à priori pas de néoformation d'argiles (ou alors de manière très limitée), mais plutôt la modification de la structure de celles existantes dans les marnes d'origine. Il résulte de ces phénomènes une masse argileuse compacte et très plastique, de couleur brun clair. Toutefois, les structures ainsi différenciées ne correspondent pas encore à un sol à proprement parler comme en témoigne par exemple l'absence d'agrégats. En outre, les processus de transformation permettent également la concentration ponctuelle des oxydes de fer contenus dans les matériaux, sous la forme de petites tâches clairement définies et non jointives entre elles. Ces phénomènes traduisent également du passage de l'eau dans ces hoplexols mais renvoie à l'idée que cette dernière ne les occupe pas tout au long de l'année. La concentration et l'oxydation du fer nécessitant indéniablement une période d'aérobiose pour se réaliser.

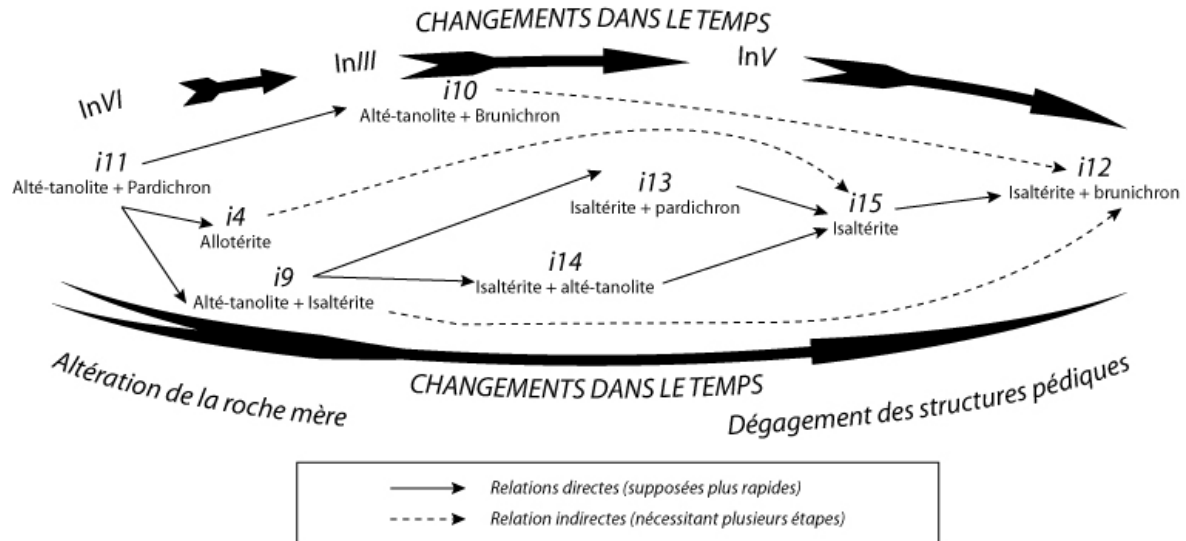


Figure 5.34 : Modèle théorique estimé des temporalités de l'altération des tanolites marneux.
 (Attention, il ne s'agit là que de successions dans le temps, l'espace n'est pas pris en compte. Spatialement parlant, il est d'ailleurs très rare de trouver toutes ces formes en un lieu donné de la géosphère).

Pour conclure sur cette section présentant les différents types d'altération de la roche mère marneuse, la figure 5.34 cherche à montrer les différentes successions temporelles des mises en évidence par les divers matériaux décrits dans les quelques lignes (et tableaux) précédentes. Il s'agit surtout d'un modèle théorique visant à expliquer les étapes successives existantes entre un tanolite non ou peu altéré et les premières formations pédiques dégagées. Il va de soi que ce petit *modèle* n'intègre pas l'espace : il ne s'agit pas pour l'instant d'une suite verticale de formes plus ou moins avancées d'altération des marnes en un point donné... Ainsi, les successions présentées ne correspondent pas à une quelconque forme de profil pédologique complet. Il est d'ailleurs extrêmement rare de trouver en un même point de la géosphère l'ensemble de ces étapes se répartissant du bas vers le haut dans le relevé. Il existe tout au plus des profils affichant des hoplexols comprenant quelques-unes des composantes citées en figure 5.34. Ces relevés sont en général organisés de manière à ce que les formes d'altération les plus anciennes (donc en théorie les isaltérites) se placent plus haut dans le profil que les formes d'altération les plus récentes (plus proches de la roche mère)... Ce qui semble assez illogique si l'on raisonne en terme d'accumulation (les plus récentes étant toujours les plus hautes). Ils s'affichent ainsi tels une *photographie chronologique* montrant les processus de dégradation de la roche mère et de sa transformation progressive en sol. Toutefois, cela n'est pas plus détaillé dans ce chapitre et ces quelques éléments de réflexion sont repris dans le chapitre portant sur la typologie des relevés du milieu naturel.

V.2.6.2.c - Les structures pédiques de l'infraplexion.

Le type d'hoplexol présenté dans cette section (InIV) rassemble deux groupes d'enceintes de la géosphère présentes sur les trois bassins versants, mais appartenant majoritairement au paysage d'Abdeladim. Il correspond à des formations pédiques qui apparaissent en profondeur dans le milieu naturel, généralement sur des glaciis colluviaux. Leur structure varie de particulière (ensembles colluviaux) à polyédrique (sols en place) et leur texture affiche des parts variables d'argiles et de limons (également distinguées en fonction de la dynamique qui conduit à leur mise en place).

Tableau 5.60 : Les structures pédiques profondes.

TYPE	Groupe	Hoplexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation...
InIV	i5	15	(Brunichron, 70%) macrogravelon (7%), microgravelon (5%), aérophysse (5%), rhizophysse (5%), pardichron (3%), calcinite (2%), mésogavelon (2%), entaféro-brunichron (1%).	<i>Pédogenèse et brunification profondes sur substrat régolique gréseux, kéritique ou conglomératique... Distinction de structures pédiques souvent entre deux strates de roche moins altérée</i>
	i6	22	(Entaféro-brunichron, 68%) microgravelon (8%), aérophysse (4%), brunichron (4%), macrogravelon (3%), tassikérite (3%), calcinite (2%), tafékérite (2%), mésogavelon (2%), rhizophysse (2%).	<i>Sols colluviaux profonds partiellement encroûtés et montrant des signes d'illuviation (concentration des argiles, précipitation des carbonates de calcium...).</i>

Ces formes pour le moins originales dans l'infraplexion apparaissent lorsque le milieu est très développé. La profondeur à laquelle ces matériaux apparaissent étant globalement équivalente à celle où se trouvent *normalement* les altérites ou les concentrations continues de calcaires typiques de cet hoplexion.

D'un point de vue dynamique ces hoplexols se rapprochent donc plus des types FIX et FX du métaplexion strict. On retrouve ainsi des processus tels que la brunification, la vertisolisation ou encore des phénomènes d'accumulations massives de sols. Les cheminements de l'eau qui les caractérisent s'en rapprochent également. Ce type apparaît en quelque sorte comme un accident et n'est pas plus approfondi ici puisque les ensembles desquels il se rapproche le plus ont déjà fait l'objet d'une caractérisation détaillée...

V.2.6.2.d - Les formes de concentrations continues des calcaires.

Le dernier point abordé dans ce paragraphe et dans ce chapitre regroupe les trois derniers types d'hoplexols (InVII, InVIII et InIX) extraits des traitements numériques réalisés à partir des données collectées. Ces trois ensembles rassemblent des hoplexols définis par les composantes de la géosphère qui comptent parmi les plus typiques du monde méditerranéen semi-aride : les croûtes et encroûtements calcaires. Chaque type établi correspond à une forme particulière de concentration continue de calcaire précipité : le type InVII renvoie aux ensembles les plus durs et les plus résistants, InVIII correspond à une forme altérée de InVII et enfin InIX rassemble des formations généralement très épaisses et d'aspect crayeux.

Le premier type présenté (tableau 5.60) correspond à des croûtes calcaires peu épaisses, généralement moins de 70 centimètres, mais d'une résistance équivalente à celle d'un calcaire dur et compact. Ces croûtes se composent de feuillets dont l'épaisseur est comprise entre 10 et 20 centimètres, eux-mêmes parcourus de séries de lamelles très fines et parallèles les une aux autres (termes employés par Ruellan, 1971). Leur couleur saumon témoigne de la présence d'hématite (Campy & Macaire, 1989).

Ces croûtes apparaissent généralement lorsque les sols sont peu épais, quelle que soit la nature du substrat géologique. On les rencontre ainsi sous la forêt d'Abdeladim où elles s'implantent sur des régolites gréseux. Elles sont alors sub-continues et se limitent à quelques plaques cohérentes plutôt placées au sommet de petits interfluves. Elles englobent parfois des cailloux grossiers et anguleux qui leur donne l'aspect de brèches (formes de concentrations calcaires

rencontrées sur les piémonts d'Abdeladim. Mais l'exemple le plus marquant de ce type de formation apparaît sur la partie amont du glacis de la première toposéquence d'El Hnach. A cet endroit, elles se retrouvent parfois à l'affleurement (sur les bords du glacis d'érosion) ou légèrement enfouies sous des structures pédiques peu développées. Elles affichent une continuité remarquable qu'aucune influence topographique ne vient perturber ou limiter... Notons enfin que ces croûtes sont parfois parcourues par des réseaux de racines suivant les axes sub-horizontaux prenant place entre les différents feuillets. Les axes racinaires participent à un démantèlement mécanique n'entraînant pas de perte de résistance des matériaux, mais simplement une perte de cohérence dans la structure d'ensemble. Ces cas sont cependant relativement marginaux.

Tableau 5.61 : les croûtes en dalle résistantes (tassikéritiques...).

TYPE	Groupe	Hoplexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation...
InVII	i16	23	(Tassikérite, 77%) microgravelon (5%), aérophyse (3%), brunichron (3%), alté-tassikérite (2%), calcinite (2%), entaféro-brunichron (2%), macrogravelon (2%), rhizophyse (2%), mésogravelon (1%), tafékérite (1%).	<i>Les croûtes calcaires très résistantes et peu altérées. Seuls quelques signes indiquant une action mécanique (racines) et chimique (pédogenèse) de dégradation sont visibles sous forme de phases longitudinales dans les réseaux anastomosés existant entre les différents feuillets qui les caractérisent...</i>

Le second type abordé (InVIII) dans cette section correspond à des croûtes calcaires similaires par leur nature, leur couleur, leur texture ou encore leur structure apparente à celles du type précédent. Leur principale différence est due au fait qu'elles sont enfouies en profondeur sous un sol colluvial épais. Cette caractéristique entraîne une perte totale de leur dureté originelle. Elles forment alors un ensemble certes toujours continu et parfaitement inscrit dans le profil mais au travers duquel l'eau peut passer facilement accentuant encore plus les phénomènes de re-dissolution des calcaires précipités et d'éluviation (ce qui tend à faire penser que leur destruction ne peut aller qu'en s'accroissant). Les hoplexols de ce type se retrouvent dans la partie médiane du glacis d'El Hnach, dans le prolongement direct des croûtes du type précédent ainsi que sur le glacis d'érosion d'Abdeladim (la majorité des hoplexols de ce type y figurent d'ailleurs).

Tableau 5.62 : Les croûtes en dalle ayant perdu leur dureté (alté-tassikérites...)

TYPE	Groupe	Hoplexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation...
InVIII	i17	44	(Alté-tassikérite, 64%), brunichron (9%), microgravelon (9%), aérophyse (5%), rhizophyse (3%), calcinite (2%), mésogravelon (2%), macrogravelon (2%), tafékérite (2%), entaféro-brunichron (1%), rhizagé (1%).	<i>Les croûtes calcaires ayant perdu leur dureté d'origine du fait d'un enfouissement profond sous des sols colluviaux favorables au maintien de l'eau, à la dissolution des CaCO₃ précipités et au ramollissement de l'ensemble...</i>

Enfin, le **dernier type présenté (InIX)** dans cette section (ainsi que dans ce chapitre d'ailleurs) correspond à des encroûtements calcaires massifs, compacts et cohérents en apparence. Ces encroûtements de couleur blanchâtre n'affichent cependant pas la dureté des croûtes définies en InVII. Une simple pression des doigts suffit à les défaire.

Les formations du type InIX apparaissent soit plus en aval dans le paysage, dans des parties de glacis à priori plus jeunes et non recouverts par une croûte résistante (elles ne font pas plus d'un mètre d'épaisseur dans ce cas), soit sous les croûtes altérées du type InVIII où elles se développent dans le substrat marneux.

Tableau 5.63 : Les encroûtements calcaires (tafékérîtes...).

TYPE	Groupe	Hoplexols (nombre)	Composition moyenne	Interprétation...
InIX	i18	23	(Tafékérîte, 68%), brunichron (8%), alté-tassikérîte (6%), aérophyse (4%), macrogravelon (4%), tassikérîte (3%), calcinite (2%), rhizophyse (2%), alté-récolite (1%), alté-tanolite (1%), mésogavelon (1%).	<i>Les encroûtements calcaires, compacts et résistants en apparence mais très friables. D'aspect crayeux, ces encroûtements se positionnent en général sous les tassikérîtes (même très altérés) et pénètrent verticalement dans les roches tendres (essentiellement) qu'ils envahissent progressivement.</i>

Plusieurs hypothèses existent et s'opposent quant à la mise en place de telles structures : les hypothèses justifiant une origine sédimentaire et une hypothèse d'origine pédologique. Nous ne retiendrons ici que l'hypothèse pédologique. L'hypothèse sédimentaire, liée à des mouvements de masse rapides (coulées de boues calcaires) le long des versants (Branner, 1911 in Campy & Macaire, 1989) semble en effet trop éloignée de nos préoccupations.

Ainsi dans le cadre de l'hypothèse pédologique, Ruellan (1971) distingue deux phases qui se succèdent au cours de périodes climatiques plus ou moins déficitaires en eau. Au cours des périodes plus humides les glacis d'érosion (d'ablation) se mettent en place par colluvionnement de matériaux pédiques dans les parties aval des reliefs. A cela succède, au cours de périodes au climat plus contrastés, une étape faisant entrer en scène la migration latérale, en saison humide, de solutions chargées en bicarbonates (Campy & Macaire, 1989) qui précipitent lors de la saison sèche sous la forme de dépôts, discontinus au départ (taches, nodules...) mais qui se rejoignent progressivement au cours du temps pour former la croûte proprement dite, ou plutôt un encroûtement (de type InIX). En effet, toujours selon Ruellan (1971), les formations les plus résistantes (donc les croûtes du type InVII) résultent alors de multiples phases de redissolutions - recristallisations. Elles se mettent en place aux dépens des encroûtements et sont principalement dues à l'ablation des parties superficielles meubles : celles-ci dégagées, l'eau peut plus pénétrer rapidement et en profondeur dans les sols. Elle s'évapore alors très rapidement après s'être chargée en carbonates et forme une pellicule de recristallisation en surface de l'encroûtement. Au fil des épisodes pluvieux, cette croûte s'épaissit peu à peu jusqu'à former un ensemble compact, résistant et imperméable sur une épaisseur suffisante pour empêcher toute pénétration de l'eau (Duchaufour, 1970).

Cette hypothèse correspond bien à ce qui est observé dans le cadre de cette thèse, notamment sur le bassin versant d'El Hnach. La succession croûte / encroûtement à la fois verticale et latérale entre globalement dans le cadre de cette théorie. Toutefois, nos observations permettent d'apporter quelques précisions.

Notons tout d'abord que lorsque le colluvionnement se poursuit et qu'il est suffisant pour permettre le recouvrement des croûtes résistantes (autrefois à l'air libre) l'eau peut alors à nouveau pénétrer en profondeur dans le milieu ce qui conduit à ralentir fortement son

évaporation et à accroître son pouvoir de dissolution. La croûte résistante devient alors plus friable et de proche en proche finit par s'altérer complètement. Elle perd alors son caractère imperméable et permet le passage d'une eau très chargée en carbonates vers les éléments du paysage qui se situent sous elle. Cette première hypothèse est mise en évidence par le passage d'une croûte résistante (InVII) à une croûte altérée (InVIII) le long de la toposéquence.

En outre, les travaux de terrain ont permis de constater que les encroûtements de type InIX se plaçaient parfois sous les croûtes altérées du type InVIII. Ils se développent dans le substrat marneux, s'étendant prioritairement suivant les axes sub-verticaux des réseaux de diaclases et éventuellement, dans des fentes de retrait, lorsque le substrat est très décompacté, voire fortement altéré. Ils semblent alors se développer sur des épaisseurs importantes, pouvant atteindre facilement une dizaine de mètres.

Toutefois, il n'est pas du tout sûr que leur développement soit réellement si important. En effet, seules les terminaisons latérales des glacis, apparaissant au contact de badlands qu'ils surplombent, laissent présager de telles épaisseurs. De ce fait, il se pourrait bien qu'il ne s'agisse que d'un *effet d'optique* lié au ruissellement de l'eau à *l'air libre* le long des parois verticales du glacis qui contribuerait à précipiter les calcaires dissous lors de leur passage sur et au travers de l'ensemble... Ainsi, l'idée qu'un encroûtement continu et régulier placé sous les croûtes résistantes situées en amont puisse exister serait fautive (et c'est très probablement le cas) : ceux-ci n'existeraient que dans certains axes préférentiels le long desquels le drainage vertical et isoclinal permettrait la (re-) précipitation des carbonates dissous lors du passage de l'eau au travers des croûtes altérées... Nous ne pourrions malheureusement pas plus développer cette hypothèse, faute de matière pour l'alimenter. Quoi qu'il en soit, la présence de ces matériaux renseigne considérablement sur le cheminement de l'eau dans le milieu, et même si ces formations sont héritées du quaternaire, les traces récentes présentes dans le milieu permettent de fournir des éléments utiles à la modélisation graphique de l'hydrodynamique des paysages.

V.2.6.3 - Les types d'hoplexols de l'infraplexion.

Tableau 5.64 : Les types d'hoplexols de l'infraplexion : les « formations géologiques superficielles »

TYPE	Les formes rencontrées dans le milieu	Les dynamiques évolutives (lors de la mise en place des hoplexols)	Bilan de l'eau et de la matière...
InI	Les formes peu altérées de la roche mère gréseuse ou calcaire... séparation des structures d'origines en blocs de taille importante et mise en place d'un sol brun dans les anciens réseaux de diaclases.	Dynamiques d'altération probablement biochimiques des roches dures... Se produisent sous l'action conjointe de l'eau, des racines et de la matière organique et se propagent via le réseau de diaclases originelles qui se trouvent élargies progressivement... Les structures pédiques s'approchent en nature de la <i>terra rossa</i> et se limitent aux intervalles existant au sein de l'ensemble.	Faiblement altérétique, même si situé en profondeur, et subissant les actions de l'érosion lorsqu'il affleure en surface.

InII	<i>L'altération géochimique du substrat gréseux... ensemble vivement coloré où toutes les structures originelles ont disparues et sont remplacées par un pseudogley sableux très riche en argiles (néoformées ?)</i>	<i>Dynamiques d'altération géochimique de la roche gréseuse... se produit sous l'action d'une eau stagnante (nappe superficielle) liée à un mauvais drainage vertical et d'une insuffisance de l'évacuation des eaux pluviales du fait d'un plancher imperméable. La coloration vive résulte de la réoxydation en période sèche du fer dissout au cours de la saison humide. (Duchaufour, 1970 ; Duchaufour, 2001).</i>	<i>Transformation très avancée de la roche mère gréseuse. Drainage limité mais stockage temporaire de l'eau.</i>
-------------	--	---	--

Tableau 5.64 (suite) : Les types d'hoplexols de l'infraplexion.

TYPE	<i>Les formes rencontrées dans le milieu</i>	<i>Les dynamiques évolutives (lors de la mise en place des hoplexols)</i>	<i>Bilan de l'eau et de la matière...</i>
InIII	<i>Les formes d'altération des roches tendres (marneuses)... Conservation de la structure d'origine mais sous une forme très fragmenté, d'aspect particulière et parcourue par des traces d'oxydation.</i>	<i>Dynamique d'altération mécanique et chimique des marnes... la roche est ameublie par dissolution partielle des calcaires, éclatement des argiles (hydratation) et oxydation du fer mais sa structure est conservée. Aucune réelle transformation des matériaux n'est cependant constatée. Les actions de l'eau circulante et des systèmes racinaires semblent prépondérantes dans la mise en place de cette altérite.</i>	<i>Fragmentation de la roche mère marneuse, processus d'altération limités mais infiltrabilité accrue</i>
InIV	<i>Les sols profonds d'origine colluviale ou non (selon la nature du substrat et du système de pente)... structure particulière à polyédrique définie en fonction des quantités d'argiles présentes (autochtones ou illuviales).</i>	<i>Pédogenèse profonde et généralement ancienne... des processus tels que la brunification, la vertisolisation ou encore des phénomènes d'illuviation sont à l'œuvre dans le milieu... Ces hoplexols peu représentatifs de l'infraplexion pourraient correspondre aux dernières formes d'altération de la roche avec un dégagement de structures pédiques. Ils apparaissent lorsque le milieu est très développé et que les composantes normales de l'infraplexion restent invisibles dans les sondages (car trop profonds.).</i>	<i>Transformation complète de la matière et début du dégagement de structures pédiques.</i>
InV	<i>Les formes d'altération très avancées de la roche mère marneuse... structure massive généralisée et peu d'agrégats individualisés. De nombreuses traces du matériau d'origine subsistent soit sous leur forme normale soit en tant que restes de structures (diaclasses, formes des plaquettes.).</i>	<i>Dynamiques d'altération chimique et évolution structurale des marnes... La roche mère est très altérée et sa structure est considérablement modifiée. Les processus tels que la transformation par modification des minéraux primaires et la néoformation sont à l'oeuvre du fait de la présence d'eau stagnante dans le milieu.</i>	<i>Transformation avancée de la roche mère tanolique.</i>

InVI	La roche mère marneuse peu ou pas altérée... conservation des structures d'origine mais marquée par d'importantes traces d'oxydation, des formes d'altération plus poussées (isaltérite) et parfois un début de pédogenèse (brunification).	Dynamiques d'altération peu marquées (premiers stades)... la roche mère reste encore compacte et conserve l'intégralité de ses structures (écaillés, plaquettes) mais elle est marquée par de nombreuses traces de fer oxydé qui se forment au contact d'une eau circulante favorable aux processus d'oxydation (et éventuellement d'oxydoréduction).	Premières phases de l'altération et de la transformation des marnes
-------------	---	---	---

Tableau 5.64 (suite) : Les types d'hoplexols de l'infraplexion.

TYPE	<i>Les formes rencontrées dans le milieu</i>	<i>Les dynamiques évolutives (lors de la mise en place des hoplexols)</i>	<i>Bilan de l'eau et de la matière...</i>
InVII	Les croûtes calcaires anciennes et résistantes... très massives, peu fissurées et sonnantes à la pioche. Pouvant localement contenir des fractions importantes de gravelons de taille diverses)	Les dynamiques de migration et de précipitation des carbonates... Etablies sous un climat contrasté (sec / humide), dans un contexte colluvial (glacis sur marnes). Le drainage oblique sur un substratum imperméable permet l'apport par illuviation de carbonates (vraisemblablement prélevés sur le relief structural tout proche), puis précipitation des carbonates en période sèche. De nombreux cycles redissolution-recristallisation sont nécessaires à la mise en place de ces croûtes résistantes.	Précipitation des carbonates dans les sols au contact d'une eau circulante (drainage isoclinal).
InVIII	Les croûtes calcaires anciennes altérées... ameublées du fait perte de la résistance d'origine sous l'action de l'eau. Aspect parfois sableux même si elles ne contiennent pas de grains de quartz.	Les dynamiques de re-dissolution des croûtes calcaires de type InVII... Ces processus interviennent lorsque la croûte résistante est protégée par une importante épaisseur de sol (colluviaux dans notre cas), la précipitation est stoppée par une quasi-absence d'évaporation et l'eau présente en profondeur altère les croûtes en place. Le drainage oblique et les phénomènes d'éluviation prédominent vraisemblablement dans le contexte actuel	Altération et redissolution des croûtes calcaires résistantes.
InIX	Les encroûtements calcaires massifs et épais... structures particulières mais tout de même cohérents. Ces ensembles d'aspect crayeux affichent une résistance limitée et peuvent s'établir sur plusieurs mètres d'épaisseur.	Dynamiques de précipitation simple des carbonates... Processus liés à la percolation de l'eau d'une eau chargée en carbonates dans les sols (saison humide) et à la précipitation des carbonates en saison sèche. Contrairement à InVII, il n'existe pas de multiples phases de dissolution-précipitation ; l'encroûtement formé ne subit alors pas d'induration.	Précipitation des carbonates dans les sols dans un contexte ne faisant pas intervenir le drainage oblique.

CONCLUSION

Nous voici donc à la conclusion de ce long chapitre utile à la présentation des données recueillies sur le terrain, de leur mise en forme et des traitements qu'elles permettent de réaliser. Les 1425 hoplexols initiaux relevés dans le milieu naturel ont permis, par traitement successifs, de dégager 46 types d'enveloppes de la géosphère réparties de la manière suivante : 4 dans le supraplexion, 9 dans le métaplexion supérieur, 13 dans le métaplexion strict, 11 dans le métaplexion inférieur et enfin 9 dans l'infraplexion. Chacun de ces types renvoyant à des compositions et / ou à des dynamiques particulières qui mettent en scène l'eau au travers de processus différents et permettent d'expliquer, au moins en partie, les phénomènes responsables de l'organisation actuelle des paysages étudiés et des flux qui y transitent.

Il va de soi que les résultats proposés ne sont pour l'instant, que des éléments intermédiaires dans l'analyse du milieu naturel. Il est en effet nécessaire, pour saisir l'organisation de la géosphère, de comprendre comment ces différents types d'hoplexols, et les formations auxquelles ils renvoient, se répartissent les uns par rapport aux autres suivant l'axe vertical et dans des « profils » complets. Les éléments d'explication fournis dans ce chapitre apparaissent à ce titre plus comme une sorte de traduction des observations réalisées que comme de réelles règles d'organisation du milieu. L'échelle à laquelle ils interviennent ne leur permet d'ailleurs pas de le devenir. Malgré cela, ces types d'hoplexols fondent déjà quelques principes clés sur lesquels viennent s'appuyer les interprétations du cheminement de l'eau dans le milieu naturel. Les explications fournies ne sont donc pas encore satisfaisantes car elles sont trop ponctuelles et nullement définies au sein d'un espace à trois dimensions (si l'on considère le milieu dans un contexte atemporel). De ce fait, ce n'est vraisemblablement que lors de la projection des types de relevés (basés sur les types d'hoplexols définis ici) avec les systèmes de pente que toute la lumière pourra être faite sur les agencements de la géosphère et les flux qui y transitent. Ce n'est en effet que dans un cadre spatial couplant observation verticale du milieu naturel et systèmes de pentes qu'il pourra être réellement défini. D'ailleurs, même si cela n'est que sous entendu dans ce chapitre, le principal agent responsable des modifications survenant dans le milieu naturel et dans ses composantes est la topographie : chaque changement, même le plus infime, dans l'inclinaison de la pente a des répercussions sur l'ensemble des organisations présentes. C'est d'ailleurs en cela que les segments de paysage apparaissent comme des unités intégrées puisqu'ils prennent en compte l'ensemble des caractéristiques du milieu dans leur définition et permettent d'en expliquer l'organisation, d'en appréhender les changements et d'en comprendre les dynamiques.

CHAPITRE VI

LA TYPOLOGIE DES ETATS DE LA GEOSPHERE

INTRODUCTION

Ce sixième chapitre aborde la question de la définition statistique des géons et des géotopes présents dans les paysages étudiés. Elaborés à partir des résultats précédents, les traitements entrepris ici permettent la reconstruction des successions verticales du milieu naturel. En d'autres termes, cela revient à s'interroger sur les agencements verticaux des *enveloppes de la géosphère* dans le but de déterminer les différents *états* qui la caractérise. Les résultats proposés sont alors des éléments clés de l'analyse puisqu'ils permettent la synthèse des opérations réalisées dans le chapitre précédent afin de déterminer les profils verticaux les plus fréquemment rencontrés sur le terrain et les plus *typiques* des paysages étudiés. Ce sont d'ailleurs les organisations définies dans ce cadre qui prendront place dans les segments de paysages. Cependant, seul les opérations numériques réalisées en vue de définir les états de la géosphère sont présentées pour l'instant. Les modèles d'organisations verticales du milieu naturel ainsi que les segments de paysages qu'ils permettent (au moins pour partie) de seront établis dans la troisième partie de la thèse. Afin de définir et de présenter les diverses organisations existantes, ce chapitre s'articule autour de trois grands paragraphes. Le premier, d'ordre méthodologique, effectue quelques rappels sur la démarche suivie pour l'élaboration de la typologie des états de la géosphère. Le second, présente les traitements réalisés et enfin le troisième montre les regroupements réalisés.

VI.1 - METHODE SUIVIE POUR L'ELABORATION DES TYPES DE GEONS.

La démarche suivie pour l'élaboration des types de relevés, et par là même des types de géons, s'inscrit dans le prolongement direct des traitements réalisés dans le chapitre précédent. En effet, c'est à partir des résultats de la typologie des hoplexols et des interprétations permises sur ces derniers que le milieu peut être reconstruit et interprété comme il se doit. Il s'agit donc maintenant de comprendre comment les types d'hoplexols s'arrangent dans le profil vertical et quelles organisations peuvent être mises en évidence dans ce cadre. C'est donc en fonction de la répartition des 46 types d'hoplexols dans les différents relevés de milieu que les types de géons sont établis. Toutefois, il est important de préciser la démarche qui permet d'aboutir à une reconstruction cohérente des paysages au travers des ensembles les plus typiques que l'on est amené à rencontrer. Ce premier paragraphe aborde donc des questions d'ordre générale, relatives à la mise en forme des données et aux protocoles suivis pour réaliser la typologie des relevés de milieu.

VI.1.1 - Démarche générale.

Ainsi, si l'on se place par rapport à la démarche proposée dans le chapitre V (V.1.3), ce nouveau chapitre et les traitements qui lui sont associés s'inscrivent dans le prolongement

direct de la typologie des hoplexols. C'est d'ailleurs uniquement à partir de ces premiers résultats que cette seconde étape peut être envisagée (figure 6.1). La typologie des relevés du milieu reprend donc les résultats précédents à partir desquels de nouvelles séries d'analyses statistiques sont réalisées.

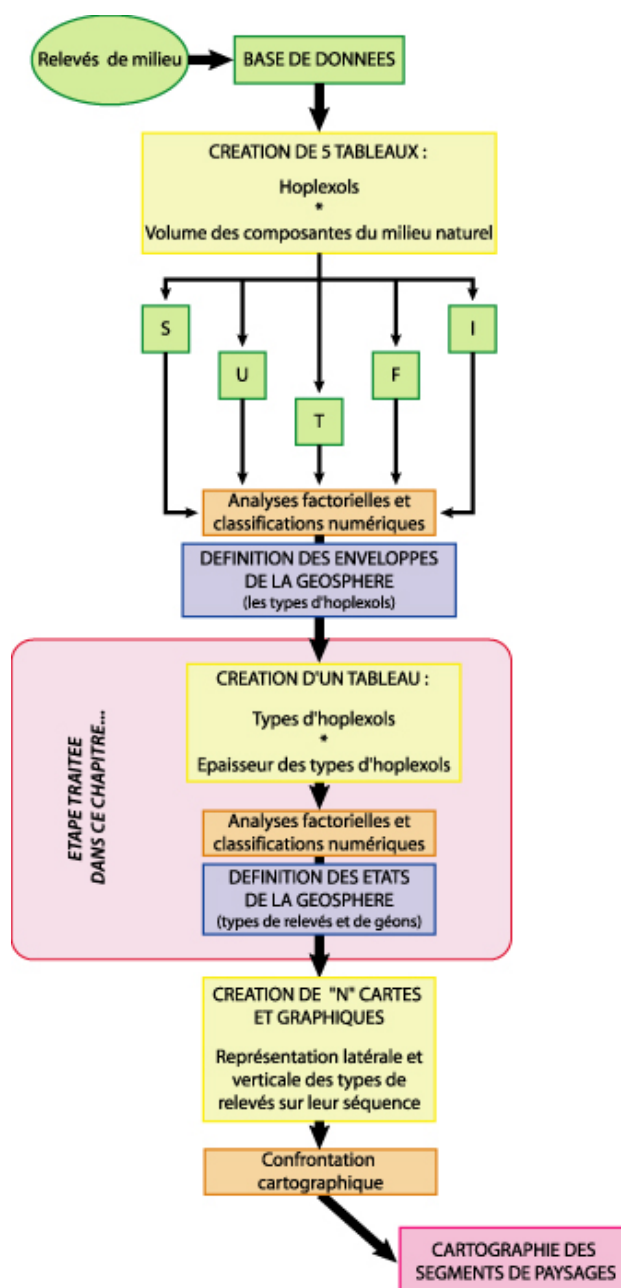


Figure 6.1 : La chaîne des traitements suivie pour l'établissement des types de géons... et des segments de paysages (étape 2).

Légende : en vert, les données brutes (et leur mise en forme dans la base de données) ; en jaune, les mises en formes nécessaires aux traitements ; en rouge, les traitements numériques ou cartographiques réalisés ; en bleu, les résultats intermédiaires ; en rose, le résultat final. Source : d'après Ndiaye (1995), modèle modifié par Morschel (2006).

Le tri réalisé sur le millier d'hoplexols présents au départ de l'analyse a permis la différenciation de 46 types d'enveloppes de la géosphère répartis de la manière suivante :

- 4 types dans le supraplexion permettant de définir les formations végétales les plus hautes rencontrées dans le milieu,
- 9 types dans le métaplexion supérieur représentant les formations végétales basses, composées essentiellement de plantes d'herbacées ou buissonnantes,
- 13 types dans le métaplexion strict montrant les différents états de la surface du *sol* en fonction du substrat sur lequel ils apparaissent mais aussi de certaines contraintes anthropiques très marquantes,
- 9 types dans le métaplexion inférieur présentant les différents types de « sols » et les dynamiques auxquelles ils renvoient,
- 8 types dans l'infraplexion définissant les formations géologiques superficielles et les formes dérivées qu'elles autorisent.

VI.1.2 - Mise en forme de la table de contingence.

Ces différents types, obtenus suite à des traitements effectués au sein d'entités séparées et distinctes, sont maintenant rassemblés dans une table de contingence unique dont l'objet est la caractérisation des types de relevés du milieu. A ce titre ils se placent dans les colonnes de ce tableau et définissent de ce fait ses variables (figure 6.2).

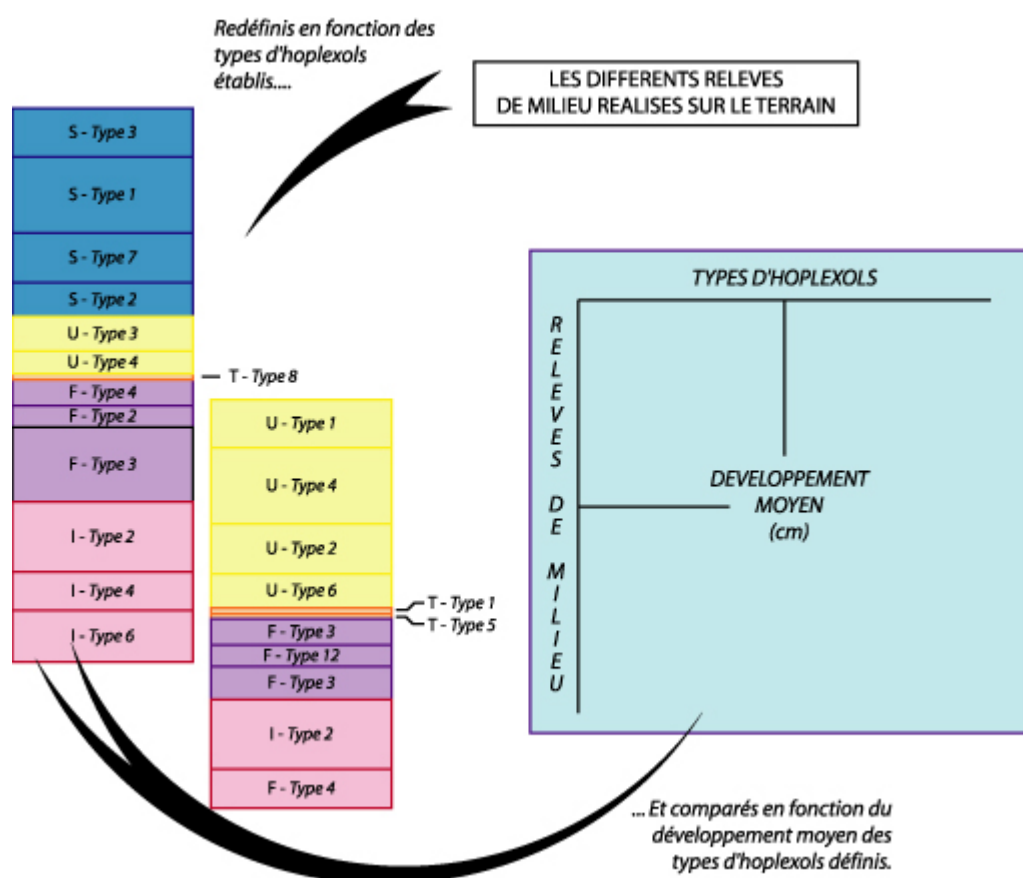


Figure 6.2 : Représentation schématique de la mise en forme des données utiles à l'établissement de la table de contingence sur laquelle s'appuient les traitements numériques réalisés en vue de définir les états de la géosphère. (D'après Richard, 1989).

Ces différentes variables vont permettre de comparer les 144 relevés de milieu identifiés sur le terrain (ils se placent dans les lignes de ce tableau) au travers de leur développement dans chaque type d'hoplexol et ce dans le but de différencier les types d'organisations verticales du milieu naturel. Il va de soi qu'une telle démarche tend une fois de plus à simplifier considérablement l'agencement de la géosphère. En effet, les géons ainsi créés correspondent à une *valeur moyenne* (que nous définirons par la suite) à laquelle toutes les observations qui s'en rapprochent sont rattachées. De ce fait, il ne sera évidemment pas possible de retrouver "telle quelle" une formation donnée dans le paysage, pour la simple raison qu'elle est *théorique* et qu'elle correspond, en quelque sorte, à un *modèle* auquel se rattachent plusieurs *entités réelles* pouvant être proches ou éloignées spatialement. Toutefois, cette simplification s'avère indispensable à toute modélisation spatiale qui prétend expliquer le *fonctionnement* du milieu naturel et est imposée dès lors que l'on cherche à caractériser ses flux. Sans cela les analyses seraient bien trop longues et trop complexes, n'offriraient pas de moyens de comparaison et ne seraient réalisables que dans un cadre très limité (quelques points de mesure). De ce fait, la typologie des géons (ou des états de la géosphère) repose sur une sixième table de contingence construite suivant le schéma proposé en figure 6.2. Celle-ci se compose donc de 144 lignes qui renvoient aux relevés identifiés sur le terrain et 46 colonnes correspondant aux types d'hoplexols établis dans le chapitre précédent.

ETAT AU TEMPS T0... GEON AU TEMPS T+N...

Il est important de rappeler que les types de milieux identifiés ne représentent que des état provisoires : ceux du moment de la différenciation sur le terrain. De ce fait, ils n'affichent qu'une représentation incomplète et figée du paysage, celle du temps T0 où le relevé est répertorié. C'est sur cette base que toutes les interprétations du milieu naturel sont réalisées, du moins d'un point de vue statistique... C'est le seul élément dont nous disposons pour le qualifier. Toutefois, dans certains cas, cet instantané du milieu naturel ne convient pas à une analyse correcte des paysages, notamment lorsque l'on a la prétention de définir le cheminement de ses flux !

Ceci est d'ailleurs très sensible quand ce dernier est anthropisé : les changements radicaux imposés par l'homme impliquent des variations brutales aussi bien dans le temps que dans l'espace. Le passage d'une jachère à une culture, la période des labours, celle des récoltes ou encore la mise en pâture sont autant d'éléments de changement qu'il est a priori impossible de relever en vision immédiate mais qui conditionnent et déterminent en grande partie la modification des flux dans le paysage. Aussi à partir de quelques observations réalisées il est important de chercher à matérialiser ces changements. Si les plus subtils ne peuvent évidemment pas être qualifiés de la sorte, les plus sensibles doivent nécessairement être matérialisés et pris en compte dans l'analyse afin de la rendre la plus complète possible.

Aussi, une fois les types de relevés clairement établis à partir des données collectées sur le terrain, certaines représentations mentales doivent être formulées dans le but d'englober les modifications les plus importantes que le milieu risque de subir. Interprétatifs et quelque peu imaginaires d'un certain point de vue, ces changements n'en restent pas moins basés sur une logique implacable qui veut qu'après une jachère arrive une mise en culture (et réciproquement) quelque soit l'espace pris en compte et dans le cas où un abandon de la terre n'est pas envisagé. Les modèles formulés sur ce principe semblent quelque peu irréels. Ils résultent cependant de la confrontation d'états différents pour un même milieu, ou tout du moins décrits comme tels dans la typologie, et sont en ce sens des éléments importants de l'analyse. Ils méritent de ce fait toute notre attention. En outre, le suivi des changements temporels réalisés par Faïza Allouch-Khébour dans le cadre de sa Thèse de Doctorat s'avère être une aide précieuse dans la différenciation d'un état initial et d'un état terminal qui permettent de fixer les bornes inférieures et supérieures imposées aux flux d'eau dans le paysage.

Cette ultime table de contingence permet une nouvelle série de traitements numériques basés sur les techniques des Analyses Factorielles des Correspondances couplées à des classifications numériques (CAH essentiellement). Sur le principe, les analyses des résultats statistiques ne diffèrent guère de celles réalisées pour la typologie des enveloppes de la géosphère. Toutefois, il s'avère que la complexité d'une telle réalisation implique de suivre des règles assez singulières pour aboutir au résultat escompté. En effet, si les types d'hoplexols s'apparentent souvent à une seule variable ou à un couple de variables informant

sur un caractère particulier du milieu, les types de relevés s'établissent en fonction de la conjonction entre plusieurs variables (en théorie : au moins une par hoplexion lorsque le milieu est complet) ce qui rend très difficile l'interprétation directe. De ce fait, il est souvent nécessaire d'avoir recours à des cheminements numériques complexes et tortueux avant d'aboutir à un résultat cohérent, pertinent et vraiment représentatif de l'organisation qu'il traduit. A titre d'exemple, s'il est facile d'imaginer que les principales organisations de la géosphère dépendent des changements qui surviennent au niveau de l'infraplexion, du moins si l'on considère la définition même du géon, la détermination des types que cet hoplexion permet d'envisager est loin d'être une évidence. Ceci est dû au *lissage statistique* imposé par la pression que l'homme exerce sur le métaplexion supérieur. Ainsi en première approximation les seuls éléments qui ressortent des traitements sont liés aux variations dans U et non dans I comme elles devraient l'être *normalement*... Il est alors parfois nécessaire de modifier la structure de la table ou de ne traiter que certaines de ses parties avant de prendre en considération son ensemble. Toutefois, le recours à de telles *tricheries* est toujours déclaré dans le texte et dans la mesure du possible justifié. Rappelons d'ailleurs que l'analyse factorielle n'est pas une fin en soi mais un outil permettant la lecture du tableau de données et qu'en dernier lieu, le résultat qui prime est celui qui correspond le mieux à ce que l'on rencontre dans le milieu naturel et non le résultat brut d'une classification. Jean-Paul Benzécri lui-même avait souvent recours à des modifications substantielles de ses tables de contingence pour aboutir au résultat attendu (Jean-François Richard, 2006, communication personnelle).

VI.2 - LES TRAITEMENTS REALISES ET LES RESULTATS QU'ILS PROPOSENT.

VI.2.1 - Des données brutes à la typologie des états du milieu, les étapes utiles à la différenciation des types de relevés.

VI.2.1.1 - Traitements sur l'ensemble de la table de contingence (et les premières réductions imposées...).

C'est donc sur une table de contingence d'une taille relativement limitée (6435 cellules) que les traitements permettent d'aboutir à la typologie des états des géons. La première analyse réalise une AFC sur l'ensemble de cette table. Seuls les plans factoriels F1-F2 et F3-F4 sont pris en compte pour l'instant pour effectuer un élagage dans les données et rendre plus lisible les résultats ultérieurs. Cette étape (figure 6.3) permet de faire ressortir deux relevés qui renvoient à des états rares, rencontrés seulement une fois sur le terrain.

L'axe factoriel F1, associé à plusieurs variables affichant de faibles coefficients d'inertie, montre une opposition notoire entre les forêts et l'ensemble des autres milieux. Si cette différence mérite d'être relevée son identification n'est pas encore d'actualité du fait de l'important centrage des points par rapport au plan factoriel. L'axe F3 montre d'ailleurs une structure similaire et traduit la même opposition ce qui renforce l'idée qu'il est nécessaire de traiter séparément les forêts par rapport au reste du milieu. Ceci est toutefois réalisé dans un second temps. En effet, les axes F2 et F4 montrent que trois variables associées à deux relevés pèsent considérablement sur les coefficients d'inertie et favorisent le centrage du reste du nuage de points.

L'axe F2 est très fortement lié à la variable *SIV* qui correspond, rappelons le, aux boisements d'El Hnach (tableau 6.1). Cette variable met en évidence un premier type de milieu défini par

l'unique relevé comportant des hoplexols du supraplexion en dehors du paysage d'Abdeladim : il s'agit d'un cas de boisement répertorié sur El Hnach tout en aval de la troisième toposéquence. De ce fait, le relevé de milieu ELH Q3 R12 définit le premier élément à isoler et forme un premier état des géons (figure 6.3), stable dans le temps mais dont l'impact est très sérieusement limité : compte tenu de sa très faible extension spatiale, l'action de cette formation en terme d'organisation du paysage et d'hydrodynamique du milieu est quasiment négligeable quelque soit l'échelle à laquelle on se place.

Tableau 6.1 : Contributions absolues et relatives des variables SIV, UVI et TVI sur les axes F2 et F4...

Variables	F2		F4	
	Contribution	Cosinus carré	Contribution	Cosinus carré
SIV	81.0%	87.0%	-	-
UVI	-	-	35.1%	40.8%
TVI	-	-	4.0%	40.8%

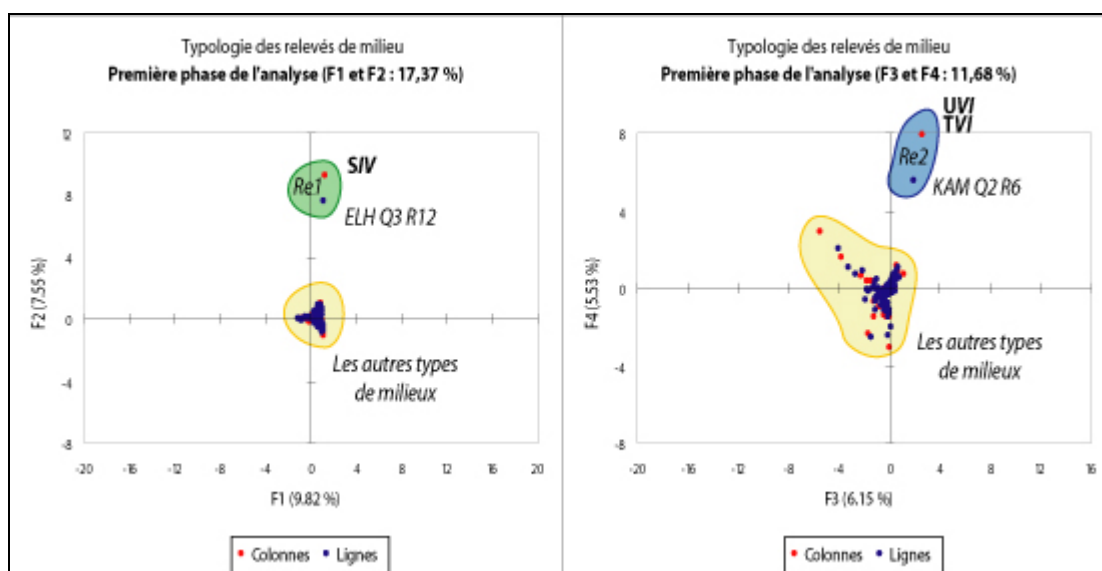


Figure 6.3 : Les premiers relevés extraits de l'analyse numérique.

Le second relevé qui apparaît tel un élément perturbateur dans la table de contingence se définit statistiquement autour des variables *UVI* et *TVI*. Les contributions de ces deux variables sur l'axe factoriel F4 ne sont pas très fortes (tableau 6.1) puisqu'elles n'interviennent qu'à hauteur de 39,1 % dans sa construction, ce qui explique partiellement l'éclatement plus important du nuage de points sur le plan factoriel F3-F4. Quoi qu'il en soit, leur position fortement détachée du reste du nuage de point impose qu'elles soient retirées directement de la table de contingence. Liées à un unique relevé (KAM Q2 R6), ces variables définissent un second état des géons : les bas-fonds humides de Kamech. Si ce type de formation n'est rencontré qu'une fois, il n'en est pas moins très important en terme de dynamique du milieu et de nombreux points semblables situés en rive gauche de Kamech s'en rapprochent très nettement et ont un impact important sur les circulations d'eau dans ce paysage.

Ces deux premiers relevés renvoyant à des dynamiques singulières du milieu naturel et les variables qui leur sont associées sont donc retirés de la table de contingence originelle. Les

traitements réalisés ensuite reposent ainsi sur un tableau comprenant 141 lignes et 42 colonnes. Les résultats de ce second traitement sont présentés en figure 6.4.

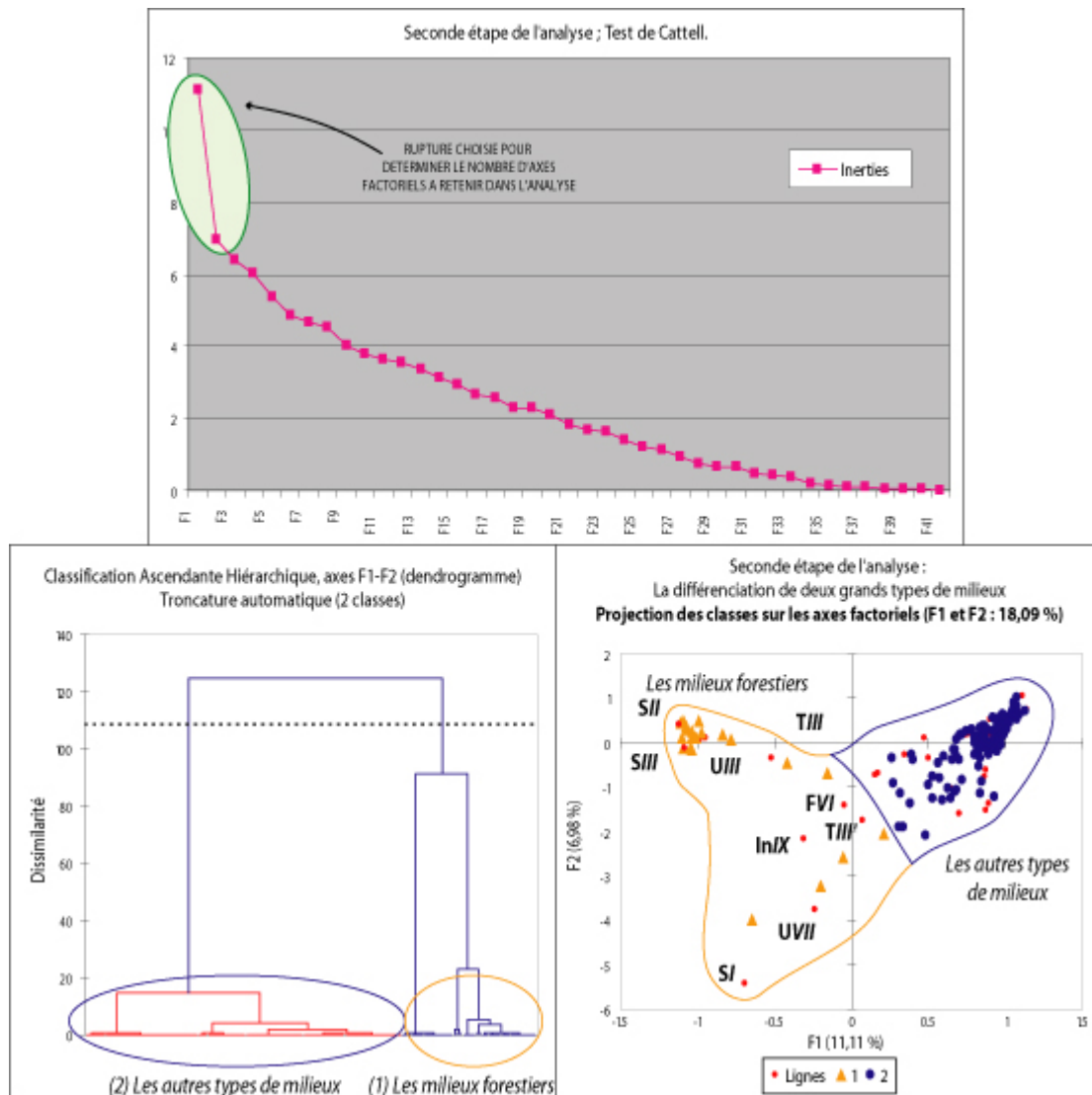


Figure 6.4 : Mise en évidence de groupes de relevés opposés...

Le premier tri réalisé permet de bien clarifier la table de contingence et autorise l'accès à des différenciations plus larges que celles réalisées en début d'analyse. Ainsi, l'Analyse Factorielle des Correspondances couplée à une Classification Ascendante Hiérarchique met clairement en évidence une distinction fondamentale entre les milieux forestiers et l'ensemble des autres milieux rencontrés dans les trois paysages. Les variables qui se détachent le plus nettement sont bien évidemment celles du supraplexion. Ainsi, SII et SIII apparaissent comme des éléments majeurs dans la construction de F1 (contribution cumulée = 52,1 %). Elles s'opposent à SI qui elle s'inscrit sur F2 avec un score de 28,3 %. Toutefois, si ces trois types d'enveloppes de la géosphère sont déterminants dans la construction de ces axes, ces derniers doivent également être analysés avec quelques types d'hoplexols appartenant aux quatre autres hoplexions et qui s'inscrivent également dans la composition des géons forestiers d'Abdeladim.

Au final 22 relevés, soit environ 15 % des observations de terrain, sont associés à cet ensemble. Situés sur Abdeladim ces relevés correspondent bien entendu à des formations

appartenant au domaine forestier. Toutefois, tous ne participent pas de la même manière à l'organisation du paysage. Cela a d'ailleurs déjà été évoqué dans le chapitre précédent : l'impact des couvertures forestières, lorsque celles-ci ne sont pas continues, entraîne des modifications significatives au niveau du métaplexion (strict et supérieur notamment).

VI.2.1.2 - Les organisations de la géosphère en milieux forestiers.

Il est intéressant de voir comment les relevés concernés se différencient de ce point de vue. Ainsi, une analyse plus approfondie est nécessaire pour faire apparaître les organisations plus fines se développant dans cet ensemble et fixer les géons et les éventuels géotopes qui participent à l'entropie des segments de paysages forestiers. De ce fait, la table de contingence qui permet cette distinction est reformulée : deux tableaux sont créés. Le premier englobe l'ensemble des milieux non forestiers (soit 120 relevés décrits par 38 variables), le second correspond aux milieux forestiers. A ce titre, il affiche seulement 22 relevés pour 24 types d'hoplexols. C'est à partir de cette table que l'analyse à l'intérieur de la forêt peut être effectuée. Elle repose sur une AFC puis sur une CAH des coordonnées principales des individus projetés sur le plan factoriel F1-F2. Ces opérations statistiques permettent de dégager 5 entités (Re3 à Re7) différentes au sein de cet ensemble (figure 6.5).

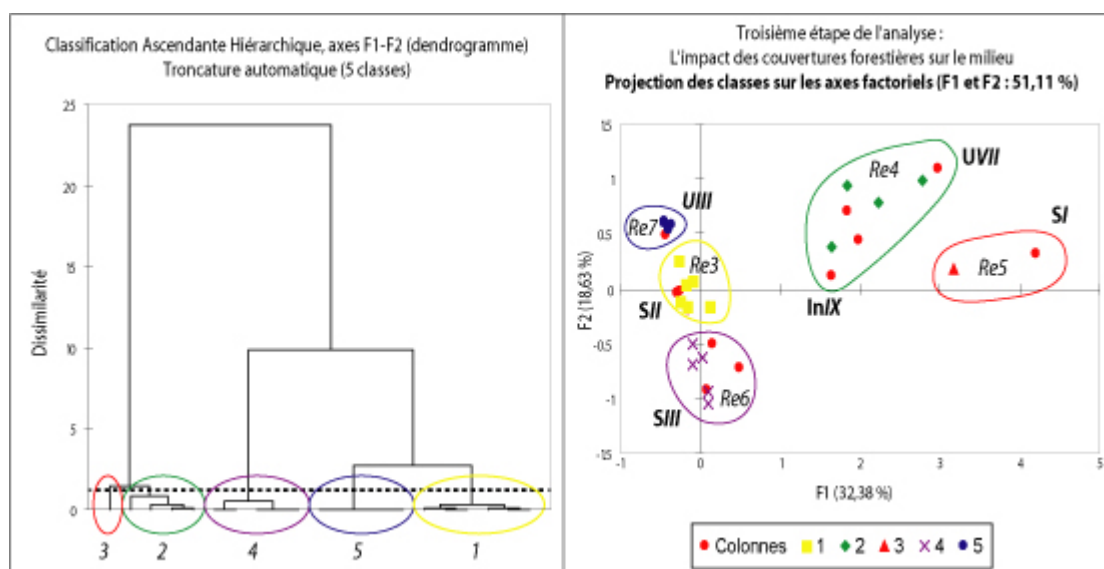


Figure 6.5 : Mise en évidence des géons et géotopes forestiers.

Le score de chacune des variables principales sur les axes factoriels F1-F2 est toujours relativement faible, mais ces variables permettent de mettre en évidence des oppositions intéressantes au sein de l'ensemble de relevés utiles à cette phase de l'analyse. L'axe F1 est lié à 4 variables (SI, SII, UVII et InIX) qui permettent d'expliquer 90,9 % de son inertie. Il traduit une opposition notoire entre SI (les plus jeunes arbres) définissant le groupe Re5 et SII (les arbres adultes et sub-adultes). Il renvoie en outre à des formations différentes au niveau du métaplexion. Cette première distinction met ainsi en évidence une opposition déjà signalée dans le chapitre précédent et définit, au moins pour partie, les auréoles concentriques qui se développent autour des arbres lorsque les couvertures forestières ne sont pas continues. L'axe F2 renforce encore ce constat en opposant SII à SIII (contribution cumulée = 87 %) correspondant aux troncs et aux grosses branches et présente une différenciation intéressante (et à vrai dire imprévue au départ) entre les arbres adultes et sub-adultes inscrits pourtant dans un même type d'hoplexol. Cette distinction n'apparaît cependant pas en terme de composition

des relevés, comme c'est le cas de toutes les autres différences constatées. La comprendre implique de s'intéresser au ratio *développement des feuillages / développement des troncs* : lorsque celui-ci est élevé, il témoigne de l'existence d'arbres aux troncs peu dégagés et aux feuillages allongés sur la hauteur du profil. En d'autres termes, il correspond à des relevés majoritairement composés de prophyses ou de pali-prophyses (donc des arbres sub-adultes). Les relevés qui s'inscrivent dans ce contexte appartiennent au type noté **Re3**. Au contraire, lorsque celui-ci est faible, il témoigne d'un étalement latéral des feuillages et d'un dégagement important des troncs. Les relevés concernés affichent alors une majorité de pro-paliphyses et de paliphyses. Ils sont alors inscrits dans le type de relevés nommé **Re6**. Précisons toutefois que ces deux types de relevés n'impliquent pas nécessairement la mise en place de deux géons car les dynamiques auxquelles les formations renvoient restent similaires et leurs impacts sur les flux sont globalement identiques. En revanche, cela met une fois de plus l'accent sur l'intérêt de la méthode d'analyse du milieu utilisée dans le cadre de cette thèse car ce résultat tout à fait inattendu montre que le milieu peut être reconstitué très précisément malgré le fait qu'au départ les deux types d'hoplexols concernés (*SII* et *SIII*) regroupent l'ensemble des arbres sans les distinguer par rapport au stade atteint dans leur modèle de croissance. Enfin, un dernier groupe (**Re7**) se détache de ces ensembles, il connote lui aussi une des auréoles établies autour des arbres. Il apparaît à la périphérie des frondaisons, entre les espaces non protégés par les feuillages et ceux situés directement sous les arbres.

Tableau 6.2 : Récapitulatif des successions verticales dans les types de relevés forestiers.

(Colonne de droite : successions des types d'hoplexols, colonne de gauche, développements en cm).

Relevé médian	Re3	Relevé médian	Re4	Relevé médian	Re5	Relevé médian	Re6	Relevé médian	Re7
SII	670	UII	10	SI	180	SII	380	SII	1210
SIII	350	UVII	50	SIII	120	SIII	600	UIII	45
UIII	10	TV	1	UVII	50	UIII	46	TIII	5
UIX	30	FX	17	TIII	1	UVII	3	TV	1
TIII	10	InIV	3	TIII'	4	TIII	1	FIV	7
TV	1	InVII	13	TV	1	TV	1	FX	8
FX	22	InVIII	23	FVI	22	FVIII	14	InVI	63
InVI	46	InIX	37	FX	11	FX	13	Développement	1339
Développement	1139	Développement	154	InIX	91	InV	59		
				Développement	480	Développement	1117		

En outre, et dans une moindre mesure statistique, les formations du supraplexion s'opposent également à celles inscrites autour de la variable *UVII* du métaplexion supérieur, ce qui permet la formation d'un nouveau type de relevé (**Re4**) correspondant aux espaces situés au cœur des boisements mais placés en dehors des couvertures forestières. Notons que les autres hoplexions n'interviennent pas ou peu dans l'analyse. Les types d'hoplexols du métaplexion inférieur et de l'infraplexion se répartissent aléatoirement dans les types de relevés impulsés par les arbres et n'interviennent de ce fait pas dans la différenciation des géons. Enfin le métaplexion strict est essentiellement représenté par les types d'enveloppes de la géosphère *TIII* et *TIII'*. Le premier apparaît systématiquement dans les trois groupes impliquant d'importantes couvertures forestières tandis que le second se répartit plus aléatoirement dans les relevés.

QUEL RELEVÉ CHOISIR POUR CARACTERISER L'ORGANISATION LA PLUS TYPIQUE DE... ?

La caractérisation des états de la géosphère passe nécessairement par un choix en matière d'informations utile à sa définition. Dans notre cas, trois possibilités se présentent (tableau 6.3) :

- La première se base sur le développement moyen de chaque relevé d'un type donné autrement dit, de calculer la moyenne de chaque variable du type et d'attribuer cette valeur pour définir le profil modèle.
- La deuxième se base sur le développement médian de chaque relevé d'un type donné autrement dit, de calculer la médiane de chaque variable du type et d'attribuer cette valeur pour définir le profil modèle.
- La troisième est de choisir un relevé médian, c'est-à-dire un relevé qui existe dans le milieu naturel et qui se place au centre du nuage de point (en 2, 3 ou 4 dimensions) du type dans lequel il s'inscrit.

Tableau 6.3 : Comparaison des résultats pour un type de relevé donné (Re3) : la moyenne du développement, la médiane du développement et le profil médian.

Moyenne	Re36
UV	29
UVIII	50
TIV	1
TXI	1
FII	14
FIV	2
FVI	3
FVIII	60
FX	4
InIV	12
InV	1
InVII	4
InVIII	10
Développement	191

Médiane	Re36
UV	30
UVIII	40
TXI	1
FII	9
FVIII	52
Développement	132

Relevé médian	Re36
UV	40
UVIII	40
TXI	1
FII	7
FVIII	57
InIV	33
InVIII	15
Développement	193

La question du choix se pose dès qu'il existe plus d'un relevé de milieu dans un groupe de relevé. Il est alors impératif de choisir une entité représentative de ce type et de l'élever au rang de « modèle d'organisation » qui remplacera toutes les autres formations associées dans l'unité en question. Les deux premiers choix proposés posent plusieurs problèmes de représentativité. En effet, le développement moyen impose la multiplication des variables et a tendance à écraser très fortement leur hauteur : dès qu'une variable affiche un développement supérieur à 0, elle est prise en compte et peut alors figurer dans le profil type, mais de manière très infime puisqu'elle est seule pour faire augmenter la moyenne. De ce fait, cette solution tend à accroître sensiblement le nombre de variables (pouvant entraîner parfois des résultats relativement antagonistes) tout en ne permettant que des développements modestes. Le choix de la médiane du développement pose en quelques sortes le problème inverse : son mode de calcul fait que trop peu de variable sont susceptibles de figurer dans le profil type. Si cela est intéressant sur le principe (du fait de l'élimination des types d'hoplexols marginaux par rapport à l'ensemble) cette solution entraîne parfois la disparition complète de certains types d'hoplexols, notamment le métaplexion strict. Ce qui n'est évidemment pas concevable ! Le premier choix complexifiant trop le milieu et le second le simplifiant à l'extrême, ces solutions sont exclues de la caractérisation des types de relevés.

Le troisième choix semble donc être la meilleure issue possible. Il permet de caractériser un type de relevé en fonction d'un relevé existant réellement dans le milieu et donc exhaustif, non contradictoire et affichant un développement qui ne soit pas aberrant. Le seul bémol à signaler apparaît lorsqu'il s'agit de choisir le relevé qui sera représentatif de l'ensemble dans lequel il s'inscrit. En effet l'idée de relevé médian implique de prendre celui qui se localise au centre du nuage de points représentant l'ensemble des relevés du même genre. Or cette opération est souvent loin d'être évidente : tout d'abord, dans le cas où seulement deux relevés existent dans un type donné, il paraît difficile de choisir celui qui se situe au centre par rapport à l'autre. Ensuite parce qu'il arrive parfois que le nuage de points a une structure telle qu'il est difficile de trouver une entité qui soit vraiment au centre de l'espace. Enfin, et c'est probablement le problème le plus grave et le plus difficile à détecter, cette solution peut parfois être dangereuse dans le cas où un « effet visuel de projection » tendrait à rapprocher des relevés qui ne le sont en fait pas vraiment. Ce cas risque d'ailleurs d'entraîner de lourds contresens. Cela impose donc pour chaque relevé de regarder ses coefficients d'inertie afin d'être sûr qu'il se situe vraiment là où il apparaît dans le système d'axes : de trop faibles coefficients d'inertie ou des valeurs trop éloignées de celles des autres points figurant « a priori » dans le même groupe impliquerait que le point considéré ne se place pas dans cet ensemble mais appartient plutôt à un autre groupement défini sur un plan factoriel différent. Toutefois, malgré les risques, c'est cette solution qui est retenue pour déterminer nos profils types car les avantages qu'elle propose méritent bien de passer outre ses inconvénients.

Les 5 types de relevés obtenus sont présentés dans le tableau 6.2. Chaque type de successions présentées correspond au *relevé médian*, c'est-à-dire celui qui se situe au centre du nuage de point dans le groupe auquel il appartient. De cette manière, les unités qui permettent de caractériser les géons, les géotopes et plus tard les segments de paysages correspondent à des profils réellement mesurés sur le terrain (voir encadré page précédente).

VI.2.1.3 - Les milieux autres que les milieux forestiers.

La suite de l'analyse (une fois les forêts « éliminées ») s'appuie sur une table de contingence regroupant 120 relevés de milieu et les décrivant au travers de 38 variables, c'est-à-dire : tout ce qui n'a pas été retiré depuis le départ de l'analyse.

En première approximation, les traitements semblent rester impuissants pour classer ces informations. Aucun ensemble ne se détache du reste et aucune cohérence ne ressort des *pseudo groupes* apparaissant à l'issue des opérations réalisées. Plusieurs essais sont pourtant effectués mais tous sont autant d'échecs laissant présager un sérieux problème dans les données utilisées pour ces traitements... et remettant en cause toute la typologie des hoplexols et par conséquent l'intégralité du chapitre précédent. Il n'en est rien évidemment.

En effet, contrairement à ce qui était imaginé au départ et semblant défier toute logique d'organisation du milieu naturel, il semble que le métaplexion supérieur soit le seul hoplexion permettant de réaliser une classification. Où tout du moins, il apparaît très clairement que la première distinction à réaliser passe nécessairement par un tri entre les grandes tendances différenciant les types de végétation basse. Aussi, dans le but de simplifier ce premier tri, une série d'analyse (AFC + CAH) est réalisée uniquement à partir des 7 variables du métaplexion supérieur encore présentes dans la table de contingence (figure 6.6).

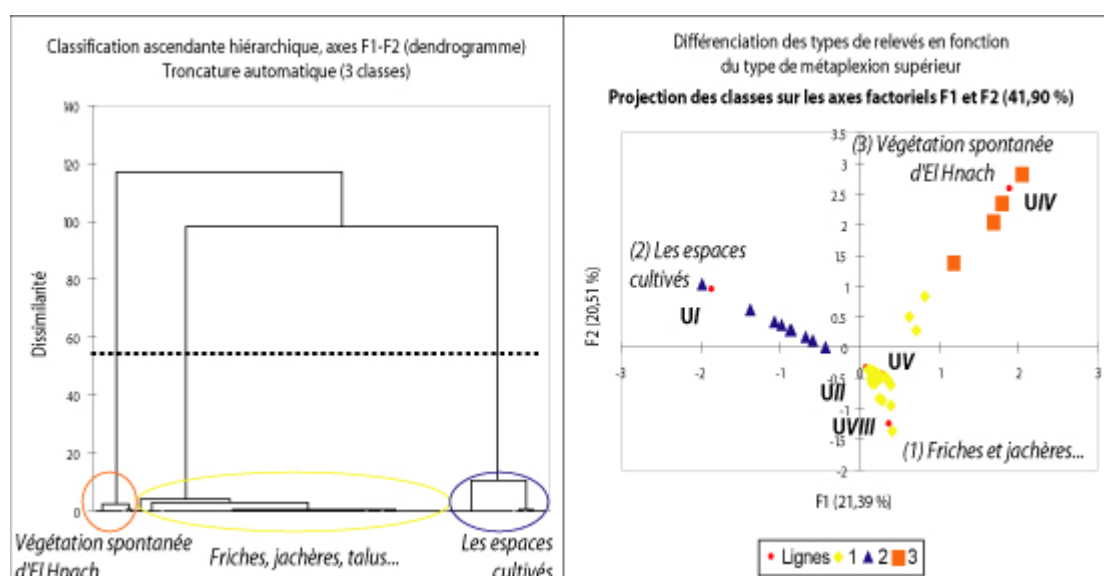


Figure 6.6 : Classification des relevés en fonction des formations végétales qui s'y placent.

Le résultat de cette opération met en avant trois ensembles de relevés. Le premier rassemble 82 individus (décrits par 37 variables) autour de trois principaux types de végétation : *UIII* (minoritaire) correspondant à la végétation buissonnante des talus de Kamech, *UV* et *UVIII* renvoyant aux friches et aux jachères rencontrées sur les trois bassins versants (la végétation spontanée anthropisée). A côté de ce premier ensemble figure le groupe correspondant aux

parcelles mises en culture l'année où les relevés furent identifiés sur le terrain. Il rapproche 27 individus (décrits par 25 variables) autour du type d'hoplexol *UI* qui renvoi bien entendu à l'ensemble de la végétation anthropique. Enfin, le troisième groupe qui apparaît semble assez marginal : il correspond à seulement 11 relevés de milieu (décrits par 21 variables) présents sur El Hnach. A ce titre, ces relevés sont rassemblés autour du type d'hoplexol *UIV* renvoyant à la végétation steppique spontanée d'El Hnach.

Si ces ensembles ne correspondent pas, bien entendu, à des *types de relevés* à proprement parlé, il est tout de même important de se demander pourquoi de telles distinctions sont imposées avant de pouvoir entreprendre la typologie des états de la géosphère : le fait d'avoir le métaplexion supérieur comme élément déterminant de l'analyse est quelque peu problématique. En effet, cet hoplexion ne renvoie pas à des distinctions intéressantes en terme d'organisation propre du milieu naturel. En Tunisie, ou du moins dans les paysages retenus pour cette étude, la végétation est la conséquence d'un agencement particulier de la géosphère et non la cause de sa mise en place (comme cela pourrait être le cas dans le milieu tropical par exemple). D'ailleurs le métaplexion supérieur ne renvoie pas à un quelconque ordre, bien au contraire : les trois ensembles définis ne sont pas cloisonnés dans des entités pédologiques et topographiques particulières et des facettes topographiques différentes renvoient bien souvent à un même type de formation végétale. Mais alors pourquoi cet hoplexion structure-t-il les résultats de cette manière ?

L'explication de ce phénomène est relativement simple : elle réside dans le fait que c'est l'homme qui impose au milieu naturel son organisation dans le métaplexion supérieur. En effet, dès qu'une parcelle est cultivable, l'homme va y inscrire sa marque quelque soit la nature de son substrat ou de sa topographie en restant tout de même dans la limite de contraintes d'accessibilité, d'exploitabilité et de rentabilité imposées par le milieu naturel lui-même. Ainsi, hormis quelques portions d'espace impropres à une mise en valeur agricole (les talus de Kamech) qui ressortent d'ailleurs assez clairement dans les statistiques, le reste du paysage subit systématiquement un *lissage* qui se marque par la disparition du supraplexion et par une homogénéisation du métaplexion supérieur. En schématisant un peu, on se rend rapidement compte que partout où l'homme exploite le milieu (et indépendamment de sa nature) deux configurations seulement y prennent place : les formes végétales liées à la mise en culture et celles présentes lorsque les parcelles sont laissées en jachère. Et cela atteint un tel niveau dans les tables de contingence qu'il n'est plus possible de *voir* quoique ce soit sans faire abstraction de ce phénomène. Le tri se faisant à priori sur les variables les plus fréquentes, l'homogénéité du métaplexion supérieur occulte toute différenciation au niveau des sols et des formations géologiques superficielles pourtant d'une importance capitale dans l'agencement de la géosphère.

Malheureusement pour nous, notre classification dépend de ces pressions anthropiques. Les distinctions qui s'opèrent en première approximation n'ont de ce fait aucun sens en terme d'organisation puisqu'elles masquent *l'hétérogénéité réelle* derrière une *homogénéité apparente*. Cela n'est toutefois pas dramatique en soit mais rallonge quelque peu les traitements : les agencements sont pris en compte au travers des trois ensembles décrits par la figure 6.6 puis sont comparés entre eux lors d'une dernière étape afin de rapprocher les organisations qui doivent l'être. Ce n'est qu'à ce moment que les géons et les géotopes prendront véritablement forme...

VI.2.1.4 - La végétation spontanée d'El Hnach.

Considérons donc en premier lieu la végétation spontanée d'El Hnach. C'est en effet le moins lourd et les différentes organisations du milieu naturel apparaissent très clairement et dès le

départ de l'analyse. Cela est dû au fait que la table de contingence ne comporte que 11 lignes pour 21 colonnes.

L'effet de lissage de la végétation annulé, puisque dans cette table une seule forme de végétation prend place, permet de percevoir plus clairement les distinctions qui apparaissent dans cet ensemble. Ainsi, 5 groupes s'individualisent suite à l'AFC et à la CAH (troncature automatique). Ils se placent par rapport à 10 variables mettant en relation un type d'hoplexol du métaplexion inférieur et un type d'hoplexol de l'infraplexion (figure 6.7). Ces groupes se rapprochent ainsi plus d'un type de géon que si les seules contraintes du métaplexion supérieur devaient être prises en compte. Chaque groupe compte cependant très peu de relevés, mais le traitement final les étoffera quelque peu en effectuant de nouvelles associations sur les variables intéressantes pour la définition des types de géons.

Le premier groupe qui apparaît (**Re8**) compte trois relevés. De part les variables qui les caractérisent (*FVIII* et *InVIII*) ils correspondent aux mesures effectuées sur le glaciaire de la première toposéquence d'El Hnach, lorsque celui-ci se développe sur des croûtes anciennes et résistantes.

Le second groupe présent (**Re9**) compte également trois relevés rassemblés au travers des variables *FVI* (sols colluviaux à fortes teneurs en calcaires) et *InIX* (les encroûtements calcaires). A ce titre, ces trois relevés figurent eux aussi sur la première toposéquence d'El Hnach, mais apparaissent plus en aval, sur une section composée d'encroûtements crayeux. Ils semblent à ce titre encore très actifs du point de vue de la dynamique de concentration des calcaires et figurent comme des éléments intéressants pour caractériser les chemins de l'eau.

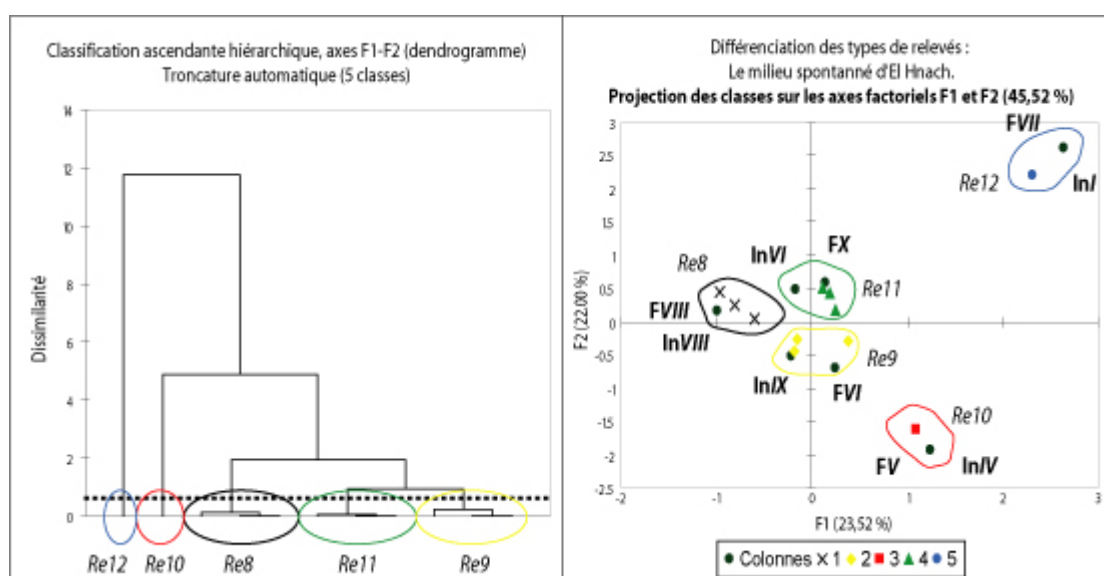


Figure 6.7 : Groupes de relevés en milieu spontané sur le bassin versant d'El Hnach.

Le troisième groupe (**Re10**) ne compte qu'un seul relevé très particulier. Situé à l'amont de la troisième toposéquence d'El Hnach, celui-ci se développe sur un substrat apparenté à des brèches ou des poudingues composés de galets de taille variable liés par un ciment plus ou moins calcaire. Ce relevé caractérise à lui seul un géon très rare, puisque rencontré une seule fois dans les trois paysages, et il est fortement probable qu'il ne puisse pas être regroupé avec un autre type d'organisation dans la suite des traitements.

Le quatrième groupe (**Re11**) affiche trois relevés appartenant à un milieu développé sur un tanolite marneux peu altéré (*InIV*) et présentant des sols bruns en place (*FV*). Tous situés à mi-parcours de la troisième toposéquence d'El Hnach, ils s'inscrivent dans le cadre d'une

alternance d'affleurements marneux encadrés par des bancs de régo-lite. Ces trois relevés sont d'ailleurs à mettre en relation avec celui qui définit le groupe Re12.

Enfin, le cinquième groupe (**Re12**) affiche une nouvelle fois un seul relevé défini par le type de *sol FVII* correspondant à des sols bruns développés sur des affleurements calcaires et par le type de formation géologique superficielle *InI* renvoyant à un affleurement de roche mère résistante peu altérée. A ce titre, se développe en partie médiane de la troisième séquence d'El Hnach, dans le cadre d'une alternance grès / marnes. Contrairement à Re10 il est quasiment sûr que l'organisation qu'il caractérise corresponde à d'autres formes d'agencement, présentes notamment sur Kamech, et que leur structure permette de les inscrire dans un même type de géon affichant toutefois des états différents.

Malheureusement, en l'état actuel de l'avancement des choses, tous les relevés à végétation spontanée d'El Hnach ne peuvent figurer dans un seul type. En effet certains d'entre eux, de par les formes végétales qu'ils affichent nécessitent d'être traités avec le troisième groupe de végétation défini sur la figure 6.6. Cet artefact n'autorise donc pas encore la définition complète des paysages d'El Hnach et limite ainsi les premières interprétations. Toutefois, ce problème n'est en rien préjudiciable au bon déroulement de la caractérisation des géons, même s'il favorise un retard dans l'analyse. Quoi qu'il en soit, les groupes de relevés apparaissant ici peuvent d'ores et déjà faire l'objet d'une caractérisation des relevés médians. Ceux-ci sont présentés dans le tableau 6.4 :

Tableau 6.4 : Les relevés médians issus de l'analyse du milieu dans le cadre de la végétation spontanée d'El Hnach.

Relevé médian	Re8
UIV	64
TXI	1
FVIII	67
InVI	10
InVIII	35
Développement	177

Relevé médian	Re9
UIV	28
TIV	3
TV	1
FV	25
FX	14
InIV	55
InVIII	12
InIX	25
Développement	163

Relevé médian	Re10
UII	10
UVIII	35
TV	13
FVII	3
InI	20
Développement	81

Relevé médian	Re11
UIV	65
TIV	5
TV	1
FX	18
InVI	31
Développement	120

Relevé médian	Re12
UIV	37
UVIII	30
TIV	3
TV	1
FVII	26
FX	13
InI	12
Développement	122

VI.2.1.5 - Les parcelles agricoles mises en culture (céréales et légumineuses).

Le second ensemble que l'on est amené à étudier avant de pouvoir caractériser les types de géons concerne les parcelles agricoles mises en cultures. Le tableau permettant de différencier des groupes de relevés au sein de cet ensemble compare 27 relevés au travers de 25 variables. Ces relevés s'inscrivent sur les trois bassins versants, avec toutefois une large domination de

Kamech. Toutes les mesures relatives à la végétation anthropique sont incluses dans cette table. Les traitements réalisés sont du même ordre que ceux réalisés précédemment : une AFC puis une CAH portant sur les coordonnées principales des individus projetés sur les axes factoriels. Ces opérations désormais classiques permettent de différencier 5 organisations dans ces ensembles. Toutefois la lecture des résultats proposés automatiquement n'offre pas entière satisfaction et après maints essais de classifications, il s'avère indispensable de reformuler certains ensembles et ainsi de former deux nouveaux groupes manuellement. Certes une telle opération enlève quelque peu de l'intérêt à la démarche statistique, mais elle est indispensable à une qualification correcte du milieu naturel. La figure 6.8 présente ces résultats. Les ensembles figurent entre parenthèses correspondent aux groupes définis manuellement.

Le premier groupe qui apparaît (**Re13**) renvoie à trois relevés de milieu perçus dans la partie aval de la première toposéquence d'Abdeladim. Définis autour des variables *InIV* (les sols profonds), *InVIII* (les croûtes anciennes et altérées) et *FVIII* (les sols bruns colluviaux), ce groupe correspond à des parcelles agricoles céréalières implantées dans le glacis d'Abdeladim. Ces mesures dans des parcelles agricoles sont d'ailleurs seules les effectuées dans ce paysage. Notons tout de suite que ce groupe peut-être rapproché de Re8 puisque le seul critère de distinction concerne les formes de végétation et éventuellement le développement. Cela met d'ailleurs une fois encore l'accent sur la nécessité d'un traitement ultime sur les groupes de relevés individualisés ici et est très encourageant vis-à-vis des résultats que nous sommes en mesure d'espérer...

La seconde association réalisée compte 5 relevés d'El Hnach et de Kamech. Compte tenu de leur nature réellement opposée, il est nécessaire de diviser cette entité en 2 groupes : **Re14** et **Re19**. Ainsi, le groupe Re14 rapproche les trois relevés de Kamech définis autour des variables *InI* correspondant à des couches gréseuses peu altérées (mais apparaissant en profondeur) et de *FV* renvoyant à des bancs de sable d'origine non-colluviale. Le groupe Re19 en revanche englobe 2 relevés d'El Hnach inscrits en partie aval du glacis de la première toposéquence (*glacis moderne*) au sein duquel ils caractérisent des sols bruns (*FX*) en place développés sur un tanolite marneux peu encroûté. Le rapprochement réalisé entre ces deux entités est lié au fait qu'elles apparaissent toutes deux rattachées à *FX* mais c'est bien là leur seul point commun... Hormis cette caractéristique, ils sont différents tant du point de vue de l'organisation que de celui de la dynamique.

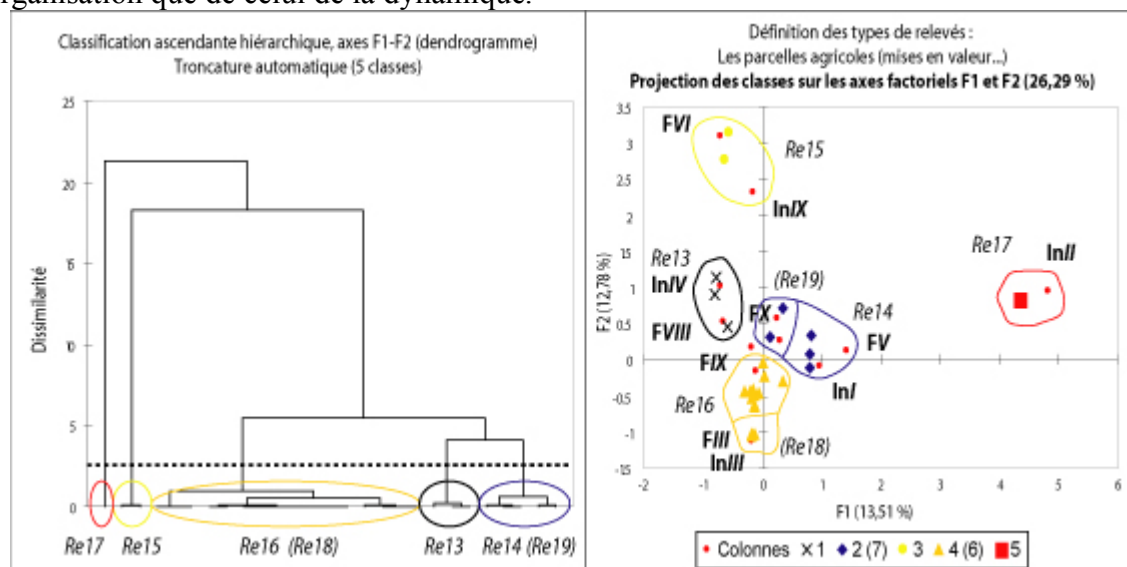


Figure 6.8 : groupes de relevés inscrits dans le cadre d'un lissage statistique lié à l'action anthropique : les parcelles mises en culture affichent des organisations différentes selon le lieu où elles se trouvent mais ces phénomènes sont masqués par une végétation identique.

Le troisième groupe (**Re15**) se définit autour de deux relevés qui s'inscrivent à l'amont des deux unités de Re19. A ce titre, ils apparaissent également sur le glacier d'El Hnach, mais dans une partie encore très encroûtée (*In/X*) et établie sur des sols bruns colluviaux très lessivés (*FV/I*). Notons que ces deux groupes de relevés sont les seuls affichant une mise en culture dans le paysage d'El Hnach.

Tableau 6.5 : les relevés médians issus de l'analyse du milieu dans le cadre de la végétation anthropique (céréale et légumineuses) dans les trois paysages.

Relevé médian	Re13
UI	60
UVIII	25
TXI	1
FVIII	100
InVIII	10
Développement	196

Relevé médian	Re14
UI	20
UV	7
UVIII	25
TX	1
FI	12
FV	18
InI	10
InV	10
Développement	103

relevé médian	Re15
UI	42
TXI	1
FVI	23
InIX	12
Développement	78

Relevé médian	Re16
UI	20
UVIII	40
TXI	2
FI	11
FIV	12
FIX	27
InVI	12
Développement	124

relevé médian	Re17
UI	55
TX	1
FV	20
InII	61
Développement	137

Relevé médian	Re18
UI	26
UVIII	30
TXI	1
FIII	37
InIII	31
InVI	13
Développement	138

Relevé médian	Re19
UI	33
TV	1
FX	64
InI	5
InIV	7
InVI	10
InIX	5
Développement	125

Le quatrième groupe rassemble deux types de relevés. **Re16** tout d'abord qui allie 12 relevés de Kamech, répartis majoritairement en rive gauche, dans des facettes topographiques de type 1, 3 et 4. Ce groupe renvoi à des sols vertiques colluviaux (*FIX*) implantés sur un substrat tanolique très altéré (*InV*). Ils se distinguent des cinq relevés de **Re17** qui eux renvoient à des sols vertiques en place (*FIII*) également établis sur un substrat tanolique très altéré (*InV* et *InV/I*). Les différenciations réalisées ici ne sont pas vraiment aussi fondamentales que dans le cas de Re14 et Re19, car les structures en place sont globalement similaires. Toutefois, si l'impact hydrodynamique de ces types de sols est le même (texture et structure des sols très proches, fentes de retrait...) leur position sur les versants ne laisse pas de place au doute quant

aux dynamiques érosives auxquels ils renvoient. C'est de ce point de vue qu'ils sont répartis en entités différentes.

Enfin **Re18**, dernier groupe apparaissant sur la figure 6.8, se compose de cinq relevés de Kamech. Etabli autour des types d'hoplexols *FIII* et surtout *InIII*, il traduit de milieux peu développés en sommet de croupes et marqués par une importante érosion conduisant au dégagement des sols et à la mise en affleurement des tanolites marneux.

Les types de relevés présentés ici sont également caractérisés par leur relevé médian présenté dans le tableau 6.5.

VI.2.1.6 - Végétation spontanée pérenne ou anthropisée.

Le troisième ensemble à considérer englobe 82 relevés de milieux décrits dans la table de contingence au moyen de 37 variables. Cette troisième unité issue de la figure 6.6 s'établit autour de plusieurs types de végétation. Une fois encore ces types de végétation affichent une nette tendance à masquer statistiquement le reste des organisations naturelles et imposent d'avoir recours à des traitements séparés pour distinguer ces structures.

Ainsi, une première série de traitements renseigne sur le fait qu'il est possible de diviser la table de contingence en 4 parties inégales. Arrivé à ce stade de l'analyse, un constat évident peut être réalisé : toutes les formes les plus typiques de végétation des trois bassins versants sont maintenant isolées. Le premier volet de l'analyse a permis de distinguer les forêts, les couvertures steppiques d'El Hnach et enfin les parcelles cultivées. Cette seconde partie de la typologie des relevés en ajoute 4 supplémentaires :

- Une forme différente de la steppe d'el Hnach, moins développée, plus clairsemée et constituée d'espèces différentes. Seulement 5 relevés apparaissent dans cet ensemble. Ils se développent tous sur l'amont de la première et de la deuxième toposéquence d'El Hnach et de ce fait caractérisent le relief structural décrit par des facettes topographiques de type 2 et 3. Notons à leur sujet que leur petit nombre autorise une classification manuelle. Les types **Re20** (4 relevés) et **Re21** (un unique relevé) sont ainsi établis.
- Viennent ensuite 8 relevés existant sur les trois bassins versants et caractérisés par des formes de végétations herbacées souvent pérennes et peu couvrantes. Cet ensemble est traité avec la figure 6.9.
- Le troisième ensemble regroupe 13 relevés inscrits sur les talus de Kamech. Les types mis en évidence apparaissent sur la figure 6.10.
- Enfin, le dernier ensemble correspond aux jachères anthropiques à proprement parlé. Il comprend 57 relevés appartenant aux trois paysages. Pour cette entité, les groupes sont traités dans la figure 6.11.

Le premier ensemble proposé permet la différenciation de 5 nouveaux groupes de relevés (figure 6.9). Les milieux concernés se retrouvent sur les trois bassins versants. Les différenciations réalisées reposent en premier lieu sur une AFC ; celle-ci est suivie d'une CAH (troncature automatique) sur les coordonnées principales des individus projetés sur les axes factoriels. Ces traitements révèlent des organisations centrées autour de neuf types d'hoplexols, fonctionnant généralement par paire pour déterminer un groupe. Chaque groupe établi ne comporte qu'un ou deux relevés.

Ainsi, un premier groupe (**Re22**) rassemble, avec les variables *TIII'* (les litières peu dégradées), *FX* (sols bruns en place) et *InVI* (tanolite marneux peu altéré), deux relevés d'Abdeladim situés à proximité de la forêt. A ce titre il rapproche *ADB Q1 R3T* et *ABD Q2 R10* et permet un premier constat : certaines structures verticales, pourtant inscrites au cœur de la forêt (mais dans des secteurs non couverts par la canopée), ressemblent très fortement à celles définies sur les piémonts non boisés. Ceci traduit certainement de dynamiques hydriques identiques liées à un système de pente globalement similaire et montre en quelques sortes les organisations qui existeraient si la forêt venait à disparaître.

Le second groupe qui apparaît (**Re23**) regroupe également deux relevés (*ELH Q2 R1* et *KAM Q4 R6*) caractérisés par le type d'hoplexol *InI*. Il renvoie donc à des structures établies sur régolite (calcaire et gréseux) peu altéré. Il est cependant important de préciser que ces deux relevés s'opposent à la fois en terme de développement et d'organisation car si le premier correspond à un affleurement massif (relief structural) et n'affiche rien au niveau du métaplexion inférieur, le second s'inscrit sur un affleurement isolé de faible épaisseur et masqué par une couche de sol. Leur position dans le milieu est cependant identique sur le principe puisque les facettes dans lesquelles ils se placent sont toujours en position haute (par rapport aux ensembles dans lesquels ils s'inscrivent) ce qui fait qu'ils apparaissent tous deux comme représentatifs d'éléments structurant le relief.

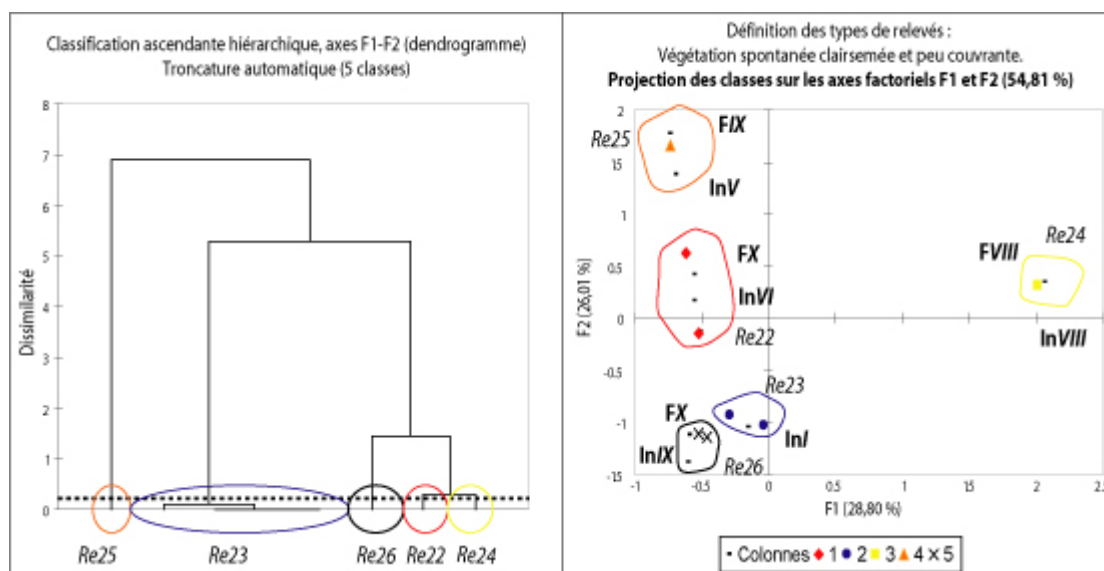


Figure 6.9 : Groupes de relevés en milieu spontané mais clairsemé.

Le troisième groupe qui se détache (**Re24**) n'affiche qu'un seul relevé (*ABD Q2 R25*). Deux variables permettent de caractériser ce groupe : *FVIII* (les sols colluviaux de glaciais) et *InVIII* (les croûtes anciennes et altérées). Il est évident qu'une telle formation ne pourra rester isolée. En effet, elle s'inscrit dans un contexte nettement plus large, celui du glaciais d'Abdeladim. Mais il est important de signaler que ce relevé se distingue nettement et depuis le début (même lors de sa différenciation sur le terrain) de tous les autres du point de vue des formes végétales. Il se pourrait très bien que cela s'explique par un comportement hydrodynamique singulier (rétention d'eau plus importante).

Le quatrième groupe (**Re25**) inclut un seul relevé (*KAM Q4 R10*) autour des variables *FIX* (les sols verticaux colluviaux) et *InV* (les formes très avancées de l'altération des marnes). De part sa localisation dans le milieu (le plus en aval des relevés de la rive droite de Kamech), il montre un développement conséquent dans le métaplexion inférieur et l'infraplexion traduisant des dynamiques accumulatives importantes. Toutefois, ce constat mérite d'être mis

en relation avec les systèmes topographique complexes de ce bassin versant : le point le plus en aval ne subit pas nécessairement les contributions du point le plus en amont (comme c'est fréquemment le cas pour les facettes de glacis par exemple), du simple fait de la structuration du relief par les bancs de grès.

Enfin, le dernier groupe (**Re26**) qui ressort sur la figure 6.9 se compose de deux relevés (*ABD Q2 R1* et *ABD Q2 R11*). Ce groupe se structure autour des variables FX d'une part et InIX d'autre part. Ainsi, s'ils diffèrent au niveau de l'infraplexion, les structures pédiques et l'organisation générale caractérisant ces relevés tendraient à les rapprocher de Re22. En ce sens, ils assurent une distinction supplémentaire au niveau des géons inscrits dans des facettes de piémont. Notons également que ces deux relevés se placent dans des contextes très différents, le premier correspondant à un sommet plat tandis que le second renvoie au piémont (défini sur la même séquence). Malgré ces différences, les systèmes de pente sont à peu près identiques et conduisent à la mise en place des mêmes formes au niveau des sols et des formations géologiques superficielles.

Tableau 6.6 : Récapitulatif des relevés médians issus de la typologie des relevés en milieu spontané (de Re20 à Re26).

Relevé médian	Re20
UII	10
UVIII	30
TVIII	1
FX	5
InI	12
Développement	58

Relevé médian	Re21
UII	15
UVIII	50
TXI	1
FVI	37
InIX	38
Développement	141

Relevé médian	Re22
UVIII	14
UIX	30
TIII'	10
TV	1
FX	14
InV	16
InVI	39
Développement	124

Relevé médian	Re23
UV	8
UVIII	4
TII	14
TXII	1
FVII	1
FX	8
InI	10
Développement	46

Relevé médian	Re24
UV	20
UVIII	30
UIX	45
TIV	5
TXII	1
FII	5
FVIII	61
InVIII	47
Développement	214

Relevé médian	Re25
UIX	85
TXI	1
FIX	48
InV	54
Développement	188

Relevé médian	Re26
UVIII	13
UIX	34
TIII'	2
TIV	4
TV	1
FX	38
InIV	6
InVII	5
InIX	33
Développement	136

Le second ensemble qu'il faut considérer dans ces formes végétales renvoie aux talus de Kamech. Les 13 relevés qui y prennent place affichent une couverture pérenne peu

développée verticalement mais souvent très couvrante. Ils permettent une protection optimale de la surface du sol face aux agents érosifs. Ces espaces sont en outre délaissés par l'homme du fait des fortes pentes qui les caractérisent. Il y marque tout de même son empreinte par la création, au fil des passages, de réseaux de chemins conduisant à la différenciation d'une structure maillée rappelant à s'y méprendre celle d'un pull Jacquard. Bref, ces 13 relevés font également l'objet d'une AFC suivie d'une CAH (troncature automatique) qui permet de les rassembler dans 5 groupes (Re27 à Re31) en fonction de la nature de leur substrat (variant elle-même selon la position du relevé sur les talus). Les résultats de ces traitements sont présentés avec la figure 6.10.

Ainsi, le premier ensemble réalisé (**Re27**) rapproche trois relevés (*KAM Q1 R1*, *KAM Q2 R3* et *KAM Q3 R6*) autour de la variable *InV* (l'altération très avancée de la roche mère marneuse). Ils se placent toujours dans un même contexte topographique et définissent les parties amont des talus, sans toutefois représenter leur sommet. A ce titre, ils semblent subir une ablation importante traduite par un faible développement dans le métaplexion inférieur et des matrices d'infraplexion proches de la surface du sol.

Le second groupe de relevé (**Re28**) définit un seul point de mesure de la géosphère (*KAM Q1 R6*). Celui-ci correspond, de par les variables qui le définissent (*FV* - Accumulations sableuses non colluviales et *InII* - altération géochimique des affleurements gréseux), au sommet des talus marqués par la présence d'une nappe d'eau temporaire et perchée qui conduit à la mise en place de ces structures. Même si cet ensemble est très largement minoritaire dans le milieu, son impact sur l'hydrologie de Kamech est très intéressant. Il mérite de ce fait d'être conservé dans la segmentation du paysage.

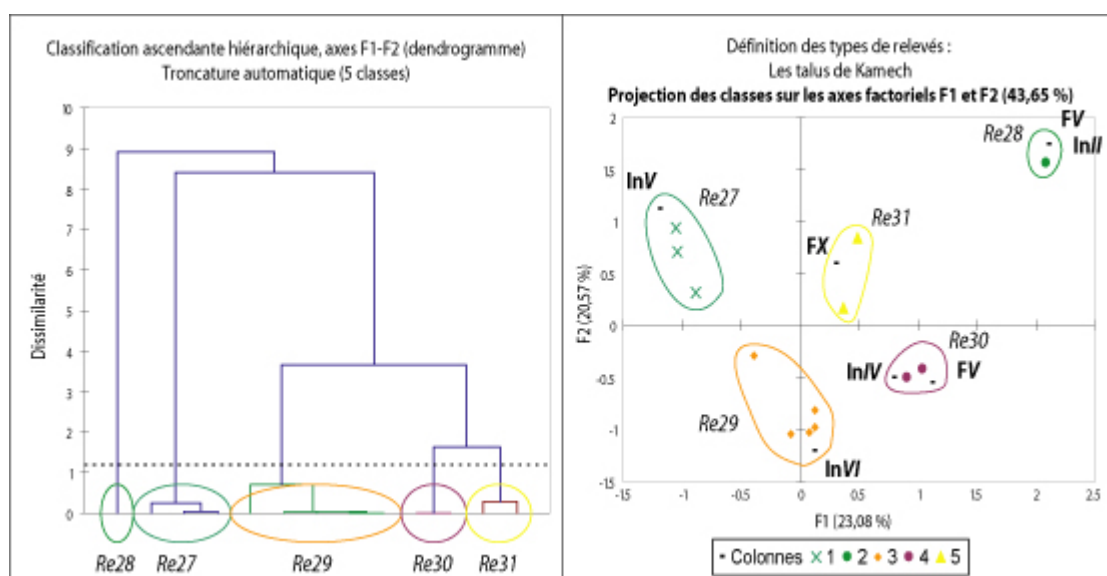


Figure 6.10 : Les groupes de relevés des talus de Kamech.

Le troisième groupe (**Re29**) renvoie à des mesures réalisées à mi-pente des talus (rive droite comme rive gauche). Les 5 relevés qui s'y inscrivent présentent une forme commune d'infraplexion correspondant à la roche mère marneuse pas ou peu altérée (*InVI*). En revanche, la nature des sols diffère de l'un à l'autre renvoyant par la même occasion à des circulations d'eau et des systèmes de pédoplasation variables. Il paraît impossible de définir un type de ce point de vue, mais cela n'a pas forcément grande importance. Quoi qu'il en soit, les structures présentes affichent des développements très comparables et nettement plus conséquents que leurs homologues de Re27 et montrent déjà des faciès colluviaux à proximité de la surface du sol.

Le quatrième groupe (**Re30**) correspond à deux relevés situés au sommet des talus. De part leur position et leur composition, ils se rapprochent très fortement de Re28. Ils affichent d'ailleurs le même type d'hoplexol *FV* (cette variable est utile à leur différenciation), mais ils s'en détachent au niveau de l'infraplexion : le type *InIV* renvoie à des sols bruns profonds à texture sableuse témoignant de la disparition totale de l'affleurement sur l'épaisseur du relevé. Cette disparition est liée à l'achèvement, en ces lieux, des processus d'altération de la roche et des processus de la pédogenèse. Seules les accumulations sableuses et la texture de ces sols rappellent la nature des matériaux qui existaient auparavant.

Enfin, le dernier groupe de relevés (**Re31**) correspond à un talus plus large, moins pentu et développant une partie sommitale sub-aplanie, structuré par des alternances plus lâches roche dure / roche tendre et par des couches d'épaisseur plus importante. Il se développe alors sur ces talus des sols vertiques (type *FV*) similaires à ceux observables sur facettes de versant (type 1) par exemple.

Les traitements réalisés sur cet ensemble mettent en avant des distinctions intéressantes au niveau des différents talus et permettent de les rapprocher facilement les uns des autres : quelque soit leur localisation dans le paysage, ils affichent toujours des successions amont / aval similaires témoignant d'une action hydrique qui reste toujours la même (ces successions ne sont cependant pas détaillées maintenant : elles trouvent leur place plus avant dans l'analyse...). Le tableau 6.7 permet un récapitulatif des 5 groupes qui viennent d'être présentés.

Tableau 6.7 : Récapitulatif des groupes de relevés correspondant aux talus de Kamech.

Relevé médian	Re27			
UII	40			
UVIII	75			
TIV	5			
TX	1			
FIII	11			
FIV	20			
FIX	5			
InV	94			
InVI	10			
Développement	261			

relevé médian	Re28
UII	48
UVIII	45
TIX	1
FV	20
InII	61
Développement	175

Relevé médian	Re29
UII	40
UVIII	50
TX	0
TXI	1
FI	14
InI	17
InVI	46
Développement	168

Relevé médian	Re30
UII	93
TIX	1
FV	40
InIII	25
InIV	12
InVI	14
Développement	185

Relevé médian	Re31
UII	55
UVIII	57
TXI	1
FV	6
FX	31
InI	8
InII	5
InV	7
Développement	170

Enfin la dernière étape de ce traitement fait apparaître 10 groupes supplémentaires de relevés. Si les opérations statistiques restent du même ordre que les précédentes, quelques points de mesure particuliers, aux implications lourdes en terme d'inertie des axes factoriels, entraînent la nécessité de procéder plus méthodiquement. Ainsi, trois groupes singuliers sont révélés lors d'une première étape basée sur deux AFC successives avec reformulation de la table de

contingence (figure 6.11, graphiques du haut). Les relevés apparentés à ces groupes sont alors retirés en vue de clarifier les résultats. La seconde étape (figure 6.11, en bas) redevient alors plus classique. L'AFC suivie d'une CAH (troncature automatique) permet d'identifier 5 groupes de relevés. Cependant, les classes établies automatiquement ne paraissent pas totalement satisfaisantes : certains regroupements abusifs doivent être signalés à l'issue des traitements. Notons que ces problèmes auraient pu être corrigés par le biais d'une nouvelle redéfinition de la table et une autre série d'opérations statistiques. Cependant dans le but de ne pas alourdir davantage ce chapitre et dans la mesure où seul un petit nombre de relevés de milieu présentaient des problèmes de positionnement, la procédure statistique est corrigée manuellement. Le premier et le cinquième groupe sont alors redéfinis : soit par réattribution dans d'autres ensembles, soit par scission en deux groupes distincts.

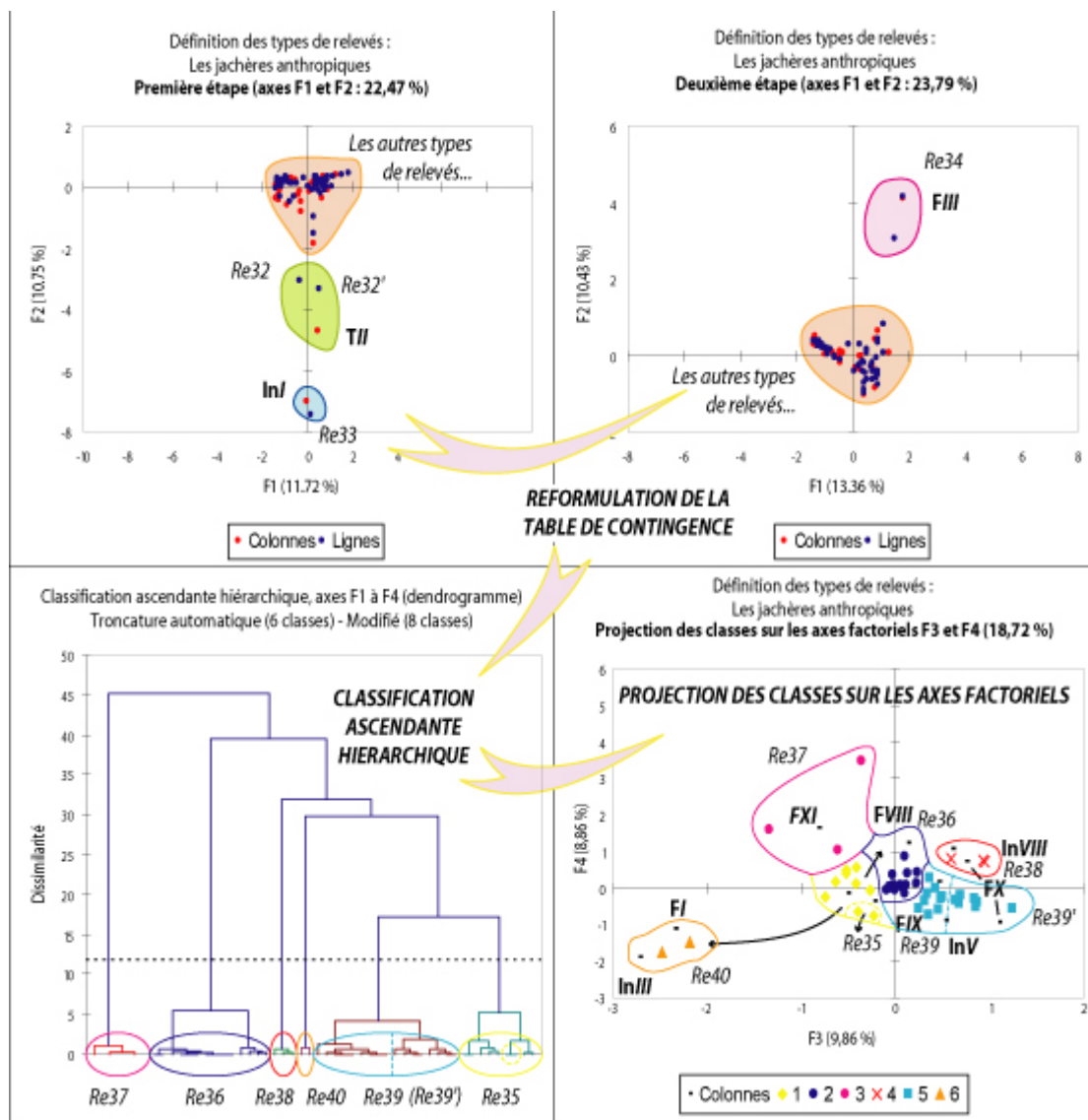


Figure 6.11 : Les derniers groupes de relevés identifiés (les jachères anthropiques)

Apparaissent donc au premier niveau de l'analyse les groupes de relevés **Re32**, **Re33** et **Re34**. Ils englobent un ou deux relevés très particuliers comme par exemple les formes liées à la destruction anthropique du substrat régolique ou (Re32), des formations de talus différenciées au niveau de la végétation (Re33) ou encore des sols vertiques en place sous jachère (Re34).

Ce n'est cependant qu'à la fin de l'analyse que les principales structures apparaissent. Les groupes mis en évidence rassemblent chaque fois un nombre important de relevés de milieu et sont en ce sens des éléments fondamentaux en terme d'organisation des paysages. Ils permettent en effet de caractériser les milieux les plus fréquemment rencontrés sur le terrain (et donc les plus mesurés) tels que le glacis d'Abdeladim ou les versants de Kamech : autant d'éléments constitutifs des grands traits des paysages. Guère différenciés verticalement et latéralement ces milieux sont aussi, du fait de leur extension, les plus importants en terme d'hydrodynamique du milieu. Il s'agit donc de les définir avec précision en gardant à l'esprit que leur impact sur le flux global à l'exutoire de chaque bassin versant est considérable.

Le premier groupe identifié (**Re35**) sur la figure 6.1 (bas) comptait au départ 9 relevés pour lesquels existent peu d'éléments en commun, si ce n'est le fait que leur complexité plus importante interdit leur rattachement dans un autre groupe dont ils sont pourtant plus proches. De ce fait, sept de ces relevés sont réaffectés dans des ensembles dont ils paraissent les plus proches. Au final, seulement deux relevés (*KAM Q5 R1* et *KAM Q5 RIS*) s'y maintiennent et le définissent. Ces deux relevés ne font en fait qu'un mais ils se distinguent du fait d'états légèrement différents dans le métaplexion supérieur. Quoiqu'il en soit, ils apparaissent centrés autour des variables *FIII* (les sols vertiques en place) et *InV* (Altération avancée de la roche mère marneuse). De cette manière, ils correspondent à une nouvelle observation des parties amont des versants de Kamech et sont rattachés à des formations du même type lors de la reconstruction des géons.

Le groupe **Re36** rassemble 16 relevés de milieu, tous pratiquement identiques. Définis par les variables *FVIII* (Les sols colluviaux lessivés) et *InVIII* (Les croûtes calcaires altérées) ou *InIV* (les sols colluviaux profonds), cet ensemble de points de mesure de la géosphère correspond au glacis d'Abdeladim (13 relevés de milieu sur *ABD Q2*) et aux morceaux manquants (dans le sens où ils n'ont pas encore été définis au cours de cette analyse) des glacis encroûtés d'El Hnach (3 relevés).

Le groupe **Re37** rassemble 3 relevés répartis sur les trois bassins versants. Défini par le type d'hoplexol *FXI* (Mouvements de masse) cette entité caractérise des milieux moins développés dans lesquels la limite *sol / formation géologique superficielle* est très nette et renvoie à l'idée d'une absence de processus de pédogenèse ou d'altération de la roche mère.

Le groupe **Re38** se définit autour de cinq relevés de milieu issus du bassin versant d'Abdeladim (notons que la classification n'en fait ressortir que trois, les deux supplémentaires étant ajoutés suite à la décision de reformuler le groupe Re35). Correspondant au piémont de la deuxième toposéquence, ce groupe de relevés s'établit grâce au couple *FX* (les sols bruns en place) / *InVIII* (les croûtes altérées). De cette manière, cette entité se distingue nettement, sur le plan topographique et organisationnel, des relevés de glacis plus en aval. En effet, si les hoplexols de l'infraplexion des deux groupes obéissent aux mêmes fonctionnements hydriques, ceux du métaplexion inférieur sont très différentes : dans un cas il s'agit de sols colluviaux tandis que dans l'autre ce sont des sols en place qui interviennent.

Le sixième ensemble de relevés à considérer présente au départ 20 points de mesure de la géosphère, majoritairement répartis sur Kamech mais également présents sur El Hnach. Tous sont définis dans *InV* (les formes d'altération très avancées de la roche mère marneuse), ce qui tend à les rapprocher. Cependant, ils s'opposent fondamentalement au niveau du métaplexion inférieur. En effet, les relevés d'El Hnach (tous établis sur *Q4*) présentent des sols bruns en place (*FX*) alors que ceux de Kamech affichent des sols vertiques de type *FIII* (en place) et de type *FIX* (colluviaux). Aussi si les facettes à l'intérieur desquelles ils sont identifiés apparaissent comme globalement identiques, il n'en est pas moins nécessaire de scinder cet ensemble afin de prendre en compte la nature différente des sols : l'impact en matière de

ruissellement est très différent de l'un à l'autre. De ce fait, les groupes **Re39** (Kamech) et **Re39'** (El Hnach) sont distingués manuellement au sein de cette entité.

Enfin, le dernier groupe **Re 40** qui apparaît dans cette typologie présente seulement deux relevés de milieu (*ELH Q4 R5 et KAM Q4' R1*). Définis par le couple de variables FI (formes avancées d'altération et structures pédiques non distinguées) et InIII (Formes avancées d'altération de la roche mère), ce dernier groupe renvoi à des milieux où l'altération géochimique du substrat tanolique est très active. De part leur nature, ces types d'hoplexols sont très proches et ils correspondent d'ailleurs aux mêmes processus de formation et à des matériaux similaires (mais dans des fractions variables). Les deux relevés caractérisant ce groupe traduisent ainsi d'un cheminement particulier de l'eau sur substrat tanolique et implique probablement une stagnation temporaire de l'eau dans le milieu naturel. Les derniers résultats de cette typologie sont présentés dans le tableau 6.8.

Tableau 6.8 : Récapitulatif des groupes de relevés inscrits dans ce dernier ensemble (les jachères anthropiques).

<table><tr><th>Relevé médian</th><th>Re3 2</th></tr><tr><td>UVIII</td><td>90</td></tr><tr><td>TII</td><td>15</td></tr><tr><td>TXI</td><td>1</td></tr><tr><td>FX</td><td>15</td></tr><tr><td>InVII</td><td>4</td></tr><tr><td>InVIII</td><td>8</td></tr><tr><td>Développemen t</td><td>133</td></tr></table>	Relevé médian	Re3 2	UVIII	90	TII	15	TXI	1	FX	15	InVII	4	InVIII	8	Développemen t	133	<table><tr><th>Relevé médian</th><th>Re3 3</th></tr><tr><td>UV</td><td>5</td></tr><tr><td>UVIII</td><td>55</td></tr><tr><td>TXII</td><td>1</td></tr><tr><td>FIII</td><td>19</td></tr><tr><td>FIV</td><td>34</td></tr><tr><td>InV</td><td>38</td></tr><tr><td>Développemen t</td><td>152</td></tr></table>	Relevé médian	Re3 3	UV	5	UVIII	55	TXII	1	FIII	19	FIV	34	InV	38	Développemen t	152	<table><tr><th>Relevé médian</th><th>Re3 4</th></tr><tr><td>UV</td><td>60</td></tr><tr><td>TXII</td><td>1</td></tr><tr><td>FIII</td><td>77</td></tr><tr><td>InV</td><td>7</td></tr><tr><td>InVI</td><td>16</td></tr><tr><td>Développemen t</td><td>161</td></tr></table>	Relevé médian	Re3 4	UV	60	TXII	1	FIII	77	InV	7	InVI	16	Développemen t	161	<table><tr><th>Relevé médian</th><th>Re3 5</th></tr><tr><td>UV</td><td>5</td></tr><tr><td>UVIII</td><td>50</td></tr><tr><td>TXI</td><td>1</td></tr><tr><td>FVIII</td><td>19</td></tr><tr><td>FX</td><td>64</td></tr><tr><td>InIII</td><td>13</td></tr><tr><td>InV</td><td>21</td></tr><tr><td>Développemen t</td><td>173</td></tr></table>	Relevé médian	Re3 5	UV	5	UVIII	50	TXI	1	FVIII	19	FX	64	InIII	13	InV	21	Développemen t	173								
Relevé médian	Re3 2																																																																										
UVIII	90																																																																										
TII	15																																																																										
TXI	1																																																																										
FX	15																																																																										
InVII	4																																																																										
InVIII	8																																																																										
Développemen t	133																																																																										
Relevé médian	Re3 3																																																																										
UV	5																																																																										
UVIII	55																																																																										
TXII	1																																																																										
FIII	19																																																																										
FIV	34																																																																										
InV	38																																																																										
Développemen t	152																																																																										
Relevé médian	Re3 4																																																																										
UV	60																																																																										
TXII	1																																																																										
FIII	77																																																																										
InV	7																																																																										
InVI	16																																																																										
Développemen t	161																																																																										
Relevé médian	Re3 5																																																																										
UV	5																																																																										
UVIII	50																																																																										
TXI	1																																																																										
FVIII	19																																																																										
FX	64																																																																										
InIII	13																																																																										
InV	21																																																																										
Développemen t	173																																																																										
<table><tr><th>Relevé médian</th><th>Re3 6</th></tr><tr><td>UV</td><td>40</td></tr><tr><td>UVIII</td><td>40</td></tr><tr><td>TXI</td><td>1</td></tr><tr><td>FII</td><td>7</td></tr><tr><td>FVIII</td><td>57</td></tr><tr><td>InIV</td><td>33</td></tr><tr><td>InVIII</td><td>15</td></tr><tr><td>Développemen t</td><td>193</td></tr></table>	Relevé médian	Re3 6	UV	40	UVIII	40	TXI	1	FII	7	FVIII	57	InIV	33	InVIII	15	Développemen t	193	<table><tr><th>Relevé médian</th><th>Re3 7</th></tr><tr><td>UV</td><td>5</td></tr><tr><td>UVIII</td><td>42</td></tr><tr><td>UIX</td><td>13</td></tr><tr><td>TXI</td><td>1</td></tr><tr><td>FXI</td><td>28</td></tr><tr><td>InV</td><td>20</td></tr><tr><td>InVI</td><td>22</td></tr><tr><td>Développemen t</td><td>131</td></tr></table>	Relevé médian	Re3 7	UV	5	UVIII	42	UIX	13	TXI	1	FXI	28	InV	20	InVI	22	Développemen t	131	<table><tr><th>Relevé médian</th><th>Re3 8</th></tr><tr><td>UIII</td><td>32</td></tr><tr><td>UVIII</td><td>15</td></tr><tr><td>TIII</td><td>3</td></tr><tr><td>TV</td><td>1</td></tr><tr><td>FX</td><td>22</td></tr><tr><td>InVII</td><td>14</td></tr><tr><td>InVIII</td><td>48</td></tr><tr><td>InIX</td><td>34</td></tr><tr><td>Développemen t</td><td>169</td></tr></table>	Relevé médian	Re3 8	UIII	32	UVIII	15	TIII	3	TV	1	FX	22	InVII	14	InVIII	48	InIX	34	Développemen t	169	<table><tr><th>Relevé médian</th><th>Re3 9</th></tr><tr><td>UV</td><td>10</td></tr><tr><td>UVIII</td><td>35</td></tr><tr><td>TXI</td><td>1</td></tr><tr><td>FIV</td><td>38</td></tr><tr><td>FIX</td><td>30</td></tr><tr><td>InV</td><td>49</td></tr><tr><td>Développemen t</td><td>163</td></tr></table>	Relevé médian	Re3 9	UV	10	UVIII	35	TXI	1	FIV	38	FIX	30	InV	49	Développemen t	163
Relevé médian	Re3 6																																																																										
UV	40																																																																										
UVIII	40																																																																										
TXI	1																																																																										
FII	7																																																																										
FVIII	57																																																																										
InIV	33																																																																										
InVIII	15																																																																										
Développemen t	193																																																																										
Relevé médian	Re3 7																																																																										
UV	5																																																																										
UVIII	42																																																																										
UIX	13																																																																										
TXI	1																																																																										
FXI	28																																																																										
InV	20																																																																										
InVI	22																																																																										
Développemen t	131																																																																										
Relevé médian	Re3 8																																																																										
UIII	32																																																																										
UVIII	15																																																																										
TIII	3																																																																										
TV	1																																																																										
FX	22																																																																										
InVII	14																																																																										
InVIII	48																																																																										
InIX	34																																																																										
Développemen t	169																																																																										
Relevé médian	Re3 9																																																																										
UV	10																																																																										
UVIII	35																																																																										
TXI	1																																																																										
FIV	38																																																																										
FIX	30																																																																										
InV	49																																																																										
Développemen t	163																																																																										
<table><tr><th>Relevé médian</th><th>Re39'</th></tr><tr><td>UV</td><td>4</td></tr><tr><td>UVIII</td><td>15</td></tr><tr><td>TXI</td><td>1</td></tr><tr><td>TXII</td><td>1</td></tr><tr><td>FX</td><td>35</td></tr><tr><td>InV</td><td>115</td></tr><tr><td>InVI</td><td>15</td></tr><tr><td>Développement</td><td>186</td></tr></table>		Relevé médian	Re39'	UV	4	UVIII	15	TXI	1	TXII	1	FX	35	InV	115	InVI	15	Développement	186	<table><tr><th>Relevé médian</th><th>Re40</th></tr><tr><td>UV</td><td>22</td></tr><tr><td>TXI</td><td>1</td></tr><tr><td>FI</td><td>11</td></tr><tr><td>FX</td><td>29</td></tr><tr><td>InIII</td><td>70</td></tr><tr><td>Développement</td><td>133</td></tr></table>		Relevé médian	Re40	UV	22	TXI	1	FI	11	FX	29	InIII	70	Développement	133																																								
Relevé médian	Re39'																																																																										
UV	4																																																																										
UVIII	15																																																																										
TXI	1																																																																										
TXII	1																																																																										
FX	35																																																																										
InV	115																																																																										
InVI	15																																																																										
Développement	186																																																																										
Relevé médian	Re40																																																																										
UV	22																																																																										
TXI	1																																																																										
FI	11																																																																										
FX	29																																																																										
InIII	70																																																																										
Développement	133																																																																										

VI.2.2 - Synthèse des groupes et relevés médians associés.

Le tableau 6.9 quant à lui permet un récapitulatif de l'ensemble des types de relevés mis en place pendant cette analyse. Chaque type de relevé est associé aux relevés du milieu auxquels il renvoie ainsi qu'au relevé médian qui sera utilisé dans la suite du chapitre en vue de la typologie des géons. Pour l'instant, aucun commentaire n'est ajouté : toutes les explications viendront une fois les traitements achevés.

Tableau 6.9 : Groupes de relevés, relevés de milieu et relevés médians, première partie

Groupe de relevés	Relevés du milieu	Relevé médian
Re1	ELH Q3 R12	ELH Q3 R12
Re2	KAM Q2 R6	KAM Q2 R6
Re3	ABD Q1 R1	ABD Q1 R3
	ABD Q1 R2	
	ABD Q1 R3	
	ABD Q1 R3 S	
	ABD Q1 R4	
	ABD Q2 R5	
Re4	ABD Q1 R1 S	ABD Q1 R1 S
	ABD Q1 R2 T	
	ABD Q1 R4 T	
	ABD Q2 R2 S	
Re5	ABD Q1 R2 S	ABD Q1 R2 S
Re6	ABD Q1 R4 S	ABD Q1 R7
	ABD Q1 R5	
	ABD Q1 R7	
	ABD Q2 R2	
	ABD Q2 R3	
Re7	ABD Q1 R6	ABD Q1 R6
	ABD Q1 R8	
	ABD Q1 R9	
	ABD Q2 R4	
	ABD Q2 R7	
Re8	ELH Q1 R6	ELH Q1 R6
	ELH Q2 R6	
	ELH Q3 R8	

Groupe de relevés	Relevés du milieu	Relevé médian
Re9	ELH Q2 R7	ELH Q2 R7
	ELH Q3 R1	
	ELH Q3 R2	
	ELH Q2 R3	
Re10	ELH Q3 R3	ELH Q2 R3
Re11	ELH Q3 R5	ELH Q3 R5
	ELH Q3 R7	
	ELH Q3 R6	
Re12	ABD Q1 R11	ELH Q3 R6
Re13	ABD Q1 R12	ABD Q1 R12
	ABD Q1 R13	
	KAM Q5 R2	
Re14	KAM Q5 R3	KAM Q6 R5
	KAM Q6 R5	
	ELH Q1 R7	
Re15	ELH Q1 R8	ELH Q1 R8
	ELH Q1 R9	
	KAM Q1 R5 S	
Re16	KAM Q2 R5	KAM Q5 R7
	KAM Q3 R2	
	KAM Q4' R4	
	KAM Q5 R5	
	KAM Q5 R5 S	
	KAM Q5 R6 S	
	KAM Q5 R6 T	
	KAM Q5 R7	
	KAM Q6 R1 S	
	KAM Q6 R4	
Re17	KAM Q1 R6 S	KAM Q1 R6 S

Tableau 6.9 : Groupes de relevés, relevés de milieu et relevés médians (suite)...

Groupe de relevés	Relevés du milieu	Relevé médian
Re18	KAM Q1 R2 S	KAM Q3 R3
	KAM Q1 R4 S	
	KAM Q2 R4	
	KAM Q3 R1	
	KAM Q3 R3	
Re19	ELH Q1 R10	ELH Q1 R10
	ELH Q1 R11	
Re20	ELH Q1 R1	ELH Q2 R2
	ELH Q2 R2	
Re21	KAM Q1 R6 S	KAM Q1 R6 S
Re22	ABD Q1 R3 T	ABD Q2 R10
	ABD Q2 R10	
Re23	ELH Q4 R6	ELH Q4 R6
Re24	ABD Q2 R25	ABD Q2 R25
Re25	KAM Q4 R10	KAM Q4 R10
Re26	ABD Q2 R1	ABD Q2 R11
	ABD Q2 R11	
Re27	KAM Q1 R1	KAM Q3 R6
	KAM Q2 R3	
	KAM Q3 R6	
Re28	KAM Q1 R6	KAM Q1 R6
Re29	KAM Q1 R7	KAM Q3 R4
	KAM Q2 R2	
	KAM Q3 R4	
	KAM Q3 R5	
	KAM Q4 R8	
Re30	KAM Q2 R1	KAM Q2 R1
	KAM Q5 R4	
Re31	KAM Q6 R2	KAM Q6 R3
	KAM Q6 R3	
Re32	ELH Q1 R4	ELH Q2 R1
	ELH Q2 R1	
Re33	KAM Q1 R4	KAM Q1 R4
Re34	KAM Q1 R2	KAM Q1 R2
	KAM Q4 R9	
Re35	KAM Q5 R1	KAM Q5 R1
	KAM Q5 R1 S	
Re36	ABD Q2 R14	ABD Q2 R19
	ABD Q2 R15	
	ABD Q2 R17	
	ABD Q2 R18	
	ABD Q2 R19	
	ABD Q2 R20	
	ABD Q2 R21	
	ABD Q2 R22	
	ABD Q2 R23	
	ABD Q2 R24	
	ABD Q2 R26	
	ABD Q2 R27	
	ELH Q1 R5	
	ELH Q2 R4	
	ELH Q3 R10	
Re37	ABD Q2 R16	ELH Q3 R9
	ELH Q1 R2	
	ELH Q1 R3	
	ELH Q3 R11	
	ELH Q3 R4	
	ELH Q3 R9	
	KAM Q4 R2	
	KAM Q4 R3	
	KAM Q4 R7	

Tableau 6.9 : Groupes de relevés, relevés de milieu et relevés médians (suite et fin)

Groupe de relevés	Relevés du milieu	Relevé médian
Re38	ABD Q1 R10	ABD Q2 R6
	ABD Q2 R12	
	ABD Q2 R6	
	ABD Q2 R8	
	ABD Q2 R9	
Re39	KAM Q1 R3	KAM Q4' R3
	KAM Q1 R5	
	KAM Q1 R8	
	KAM Q3 R0	
	KAM Q3 R7	
	KAM Q3 R8	
	KAM Q4 R1	
	KAM Q4' R2	
	KAM Q4' R3	
	KAM Q4 R4	
	KAM Q4' R4 S	
	KAM Q4 R5	
	KAM Q4 R6	
	KAM Q5 R6	
	KAM Q6 R1	
Re39'	ELH Q4 R1	ELH Q4 R3
	ELH Q4 R2	
	ELH Q4 R3	
	ELH Q4 R4	
	ELH Q4 R7	
Re40	ELH Q4 R5	ELH Q4 R5
	KAM Q4' R1	

Les traitements réalisés sur les 144 points de mesure de la géosphère de départ permettent de mettre en évidence 40 groupes de relevés de milieu. Différenciés dans un premier temps en trois grandes entités en fonction des couvertures végétales, sur lesquelles l'homme impose une pression telle qu'elles provoquent un lissage de l'information lors des traitements statistiques, ces relevés sont véritablement répartis dans des groupes au cours d'une seconde phase de traitements au sein de chaque unité établie au préalable. Les résultats proposés sont déjà fort intéressants car ils apportent une quantité importante d'informations sur l'organisation verticale du milieu naturel. Mais leur intérêt est encore très limité du simple fait de leur nombre et des récurrences existantes entre eux. Il est certes plus évident de vouloir établir des modèles spatiaux à partir d'eux plutôt que de se baser sur les relevés bruts, mais ils proposent à la limite une richesse d'information encore trop importante pour espérer une synthèse

pertinente. De ce fait, il est nécessaire de mettre en œuvre une ultime opération statistique à l'échéance de laquelle les géons prennent une réelle existence.

VI.3 - LA TYPOLOGIE DES GEONS PROPOSEE (DERNIERE ETAPE DE LA CLASSIFICATION).

La dernière étape statistique sur les données de terrain envisagée dans le cadre de cette thèse vise à achever la synthèse de l'information. C'est à ce stade que les types de géons sont déterminés. Les traitements réalisés dans ce but sont plus simples et plus rapides que tous ceux mis en œuvre jusqu'à présent (mais ils seraient tout simplement irréalisables sans le travail typologique en amont). En effet, les nombreuses épurations successives offrent un niveau de synthèse tel qu'il ne reste désormais plus que quarante éléments à *trier*. En outre, ce tri s'effectue uniquement sur les types d'hoplexols de l'infraplexion des relevés médians mis en évidence dans le paragraphe précédent.

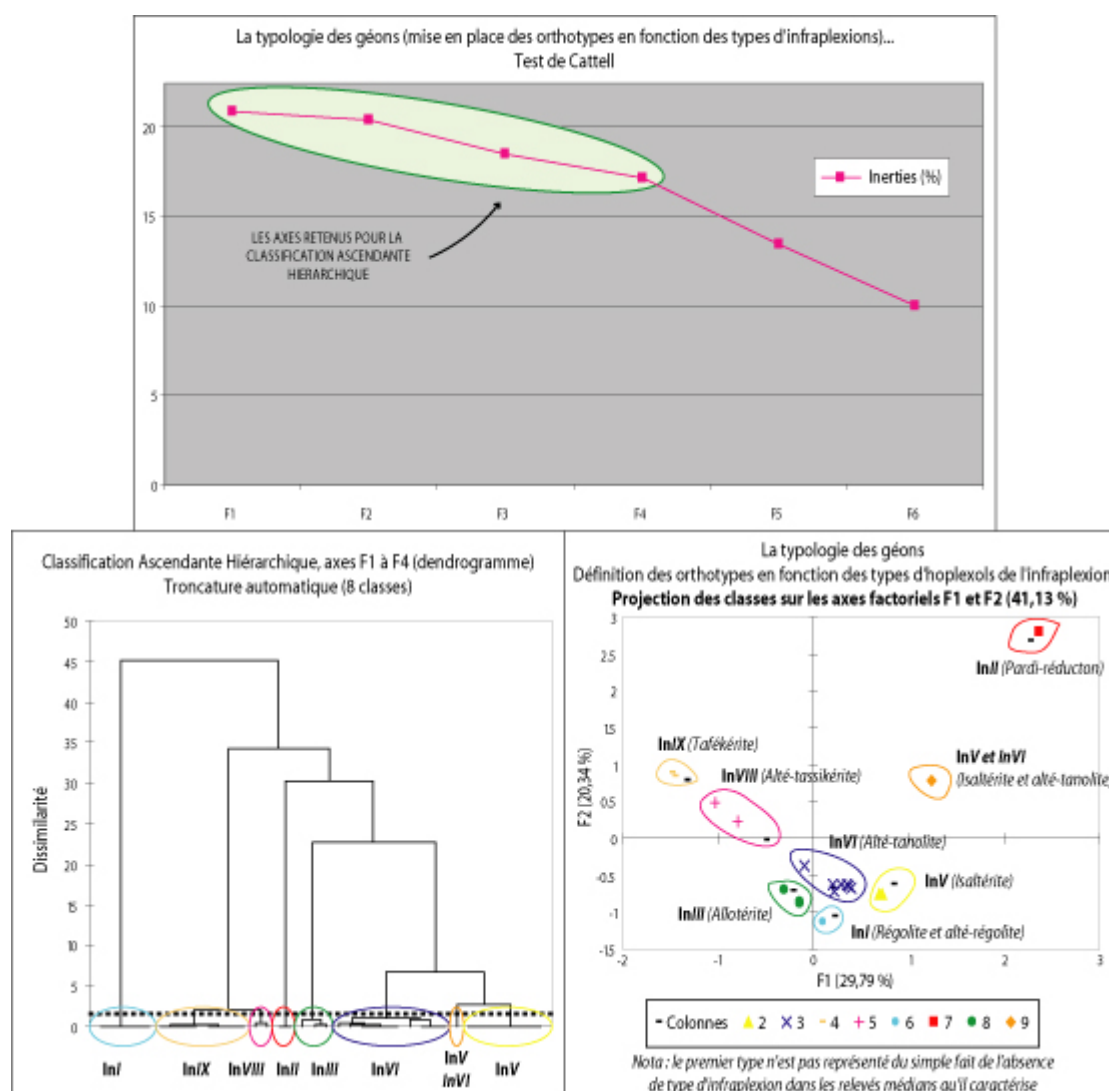


Figure 6.12 : Classification finale, distribution des groupes de relevés en fonction des types d'infraplexions dans lesquels ils s'inscrivent.

Le choix de ne conserver que les types d'infraplexions des relevés médians mérite une petite justification. Celui-ci n'est en effet ni gratuit ni dénué de sens, mais repose sur une règle

élémentaire régissant les milieux sédimentaires. Les alternances géologiques, notamment lors du passage d'une roche dure à une roche tendre conditionnent les paysages, tant du point de vue topographique et géomorphologique que du point de vue de ses organisations propres. Notons toutefois que ce principe est certainement discutable dans les *paysages cristallins*, plus homogènes du point de vue géologique ou en tout cas soumis à des variations moins brutales du substrat rocheux. En tout état de cause il semble logique de prendre en compte, en premier lieu, les modifications survenant au niveau des formations géologiques superficielles car cela évite de lourds contresens et tend à clarifier les organisations verticales de la géosphère. Toutefois, il est évident que des changements substantiels apparaissent à l'intérieur d'un même type d'organisation, notamment lors du passage d'un paysage à l'autre. En effet, un tanolite marneux ou un régolite gréseux n'ont pas forcément le même *avenir* lorsque s'ils se trouvent sur Kamech, El Hnach ou Abdeladim. De nombreuses nuances apparaissent. Principalement visibles au niveau des sols et des dynamiques responsables de la transformation de la matière, ces changements méritent alors toute notre attention.

Ainsi les trois paysages sont une fois de plus traités simultanément, au sein d'une même table de contingence, afin de permettre comparaisons et rapprochements de leurs organisations respectives et avant de passer à l'analyse au cas par cas. Mais ne nous avançons pas encore sur ce sujet : il est pour l'instant important de préciser les dernières opérations nécessaires avant de pouvoir passer à une analyse construite et cohérente de nos paysages. Une seule série de traitements est réalisée. Elle porte sur une table de contingence incluant 41 lignes (les relevés médians apparus au cours de l'étape précédente) et 44 colonnes (les types d'hoplexols encore disponibles du chapitre précédent). Comme signalé plus haut dans ce paragraphe, seuls les types d'infraplexion (de InI à InIX) sont pris en compte. Les résultats graphiques sont présentés en figure 6.12.

Chaque ensemble représenté sur cette image correspond à un type d'infraplexion donné à l'intérieur duquel se répartissent les 41 relevés médians et par la même occasion l'ensemble des relevés de milieu qui leurs sont rattachés. Trois grands ensembles apparaissent ainsi :

- Les milieux régoliques (*régolite, alté-régolite, pardi-réducton*): ils rassemblent 9 relevés médians répartis dans deux groupes en fonction des formes constatées et des dynamiques auxquelles elles renvoient (tableau 6.10).
- Les milieux kéritiques (*tafékérîte, alté-tassikérîte*) : ils regroupent 11 relevés médians au travers de trois ensembles différenciés selon la nature du substrat (tableau 6.11).
- Les milieux tanoliques (*alté-tanolite, allotérîte, isaltérîte*): ils correspondent à 21 relevés médians séparés dans 4 groupes essentiellement en fonction des formes d'altérations des matériaux (tableau 6.12).

C'est au travers de ces résultats que les explications relatives aux organisations verticales de la géosphère et de ses flux sont fournies. Ce sont aussi ces résultats qui s'intègrent dans les facettes topographiques et permettent la définition des segments de paysages. Mais avant d'en arriver là il est important de présenter ces organisations afin de voir leurs compositions ainsi que les dynamiques auxquelles elles renvoient.

Tableau 6.10 : Les différentes des milieux régoliques.

Relevés médians	ELH Q2 R3	ELH Q3 R6	ELH Q2 R2	KAM Q5 R3	ELH Q2 R1	ELH Q4 R6	KAM Q1 R6 S	KAM Q6 R3	KAM Q1 R6
Groupe	Re10	Re12	Re20	Re14	Re32	Re23	Re17	Re31	Re28
UI	0	0	0	20	0	0	55	0	0
UII	10	0	10	0	0	0	0	40	48
UIV	0	37	0	0	0	0	0	0	0
UV	0	0	0	7	0	15	0	0	0
UVIII	35	30	30	25	7	0	0	60	45
TII	0	0	0	0	27	0	0	0	0
TIV	0	3	0	0	0	0	0	0	0
TV	13	1	0	0	0	0	0	0	0
TVIII	0	0	1	0	0	0	0	0	0
TIX	0	0	0	0	0	0	0	1	1
TX	0	0	0	1	0	0	1	0	0
TXII	0	0	0	0	0	1	0	0	0
FI	0	0	0	12	0	0	0	0	0
FV	0	0	0	18	0	0	20	12	20
FVII	3	26	0	0	0	2	0	0	0
FX	0	13	5	0	0	15	0	35	0
InI	20	12	12	10	15	5	0	0	0
InII	0	0	0	0	0	0	61	10	61
InV	0	0	0	10	0	0	0	14	0
Type	Les régolites pas ou peu altérés						Les régolites très fortement altérés		

Tableau 6.11 : Les différentes formes des milieux kéritiques.

Relevés médians	ABD Q2 R11	ABD Q1 R2 S	ELH Q1 R8	ELH Q2 R5	ELH Q3 R2	ABD Q1 R1 S	ABD Q2 R6	ABD Q1 R12	ABD Q2 R25	ABD Q2 R19	ELH Q1 R6
Groupe	Re26	Re5	Re15	Re21	Re9	Re4	Re38	Re13	Re24	Re36	Re8
SI	0	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SIII	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UI	0	0	42	0	0	0	0	60	0	0	0
UII	0	0	0	15	0	10	0	0	0	0	0
UIII	0	0	0	0	0	0	32	0	0	0	0
UIV	0	0	0	0	28	0	0	0	0	0	64
UV	0	0	0	0	0	0	0	0	20	40	0
UVII	0	50	0	0	0	50	0	0	0	0	0
UVIII	26	0	0	50	0	0	15	25	30	40	0
UIX	23	0	0	0	0	0	0	0	45	0	0
TIII	0	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0
TIII'	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TIV	1	0	0	0	3	0	0	0	5	0	0
TV	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0
TXI	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1
TXII	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
FII	0	0	0	0	0	0	0	0	5	7	0
FV	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0
FVI	0	22	23	37	0	0	0	0	0	0	0
FVIII	0	0	0	0	0	0	0	100	61	57	67
FX	40	11	0	0	14	17	22	0	0	0	0
InIV	0	0	0	0	55	3	0	0	0	33	0
InVI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
InVII	0	0	0	0	0	13	14	0	0	0	0

InVIII	0	0	0	0	12	23	48	10	47	15	35
InIX	41	91	12	38	25	37	34	0	0	0	0
Type	Les milieux tafékéritiques				Les milieux en intergrade			Les milieux tassikéritiques			

Tableau 6.12 : Les différentes formes des milieux tanoliques.

Relevés médians	ABD Q1 R3	ABD Q1 R6	ELH Q1 R10	ELH Q3 R5	ABD Q2 R10	ELH Q4 R3	ELH Q4 R5	ELH Q3 R9	KAM Q5 R1	ABD Q1 R7	ELH Q3 R12	KAM Q3 R4	KAM Q5 R7	KAM Q2 R6	KAM Q4 R10	KAM Q4' R3	KAM Q1 R4	KAM Q1 R2	KAM Q3 R6	KAM Q3 R3	KAM Q2 R1
Groupe	Re3	Re7	Re19	Re11	Re22	Re39'	Re40	Re37	Re35	Re6	Re1	Re29	Re16	Re2	Re25	Re39	Re33	Re34	Re27	Re18	Re30
SII	670	1210	0	0	0	0	0	0	0	380	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SIH	350	0	0	0	0	0	0	0	0	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SIV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UI	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	26	0
UHI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	40	0	93
UIH	10	45	0	0	0	0	0	0	0	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UIV	0	0	0	65	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UV	0	0	0	0	0	4	22	5	5	0	0	0	0	0	0	10	5	60	0	0	0
UVI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95	0	0	0	0	0	0	0
UVII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UVIII	0	0	0	0	27	15	0	42	50	0	0	50	40	0	0	35	55	0	75	30	0
UIX	30	0	0	0	24	0	0	13	0	0	0	0	0	0	85	0	0	0	0	0	0
THH	10	5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
THH'	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TIV	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0
TV	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TVI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
TIX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
TX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
TXI	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	2	0	1	1	0	0	0	1	0
TXII	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
FII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0
FIII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	77	16	37	0
FV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40
FVIII	0	0	0	0	0	0	0	0	19	14	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FIX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	27	6	48	30	0	0	0	0	0
FX	22	15	88	18	6	35	29	0	64	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FXI	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
InI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0
InIII	0	0	0	0	0	0	81	0	13	0	0	14	11	26	0	0	0	0	0	31	25
InIV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
InV	0	0	0	0	31	115	0	20	21	59	7	0	12	80	54	87	72	7	114	0	0
InVI	46	63	34	31	31	15	0	22	0	0	0	46	12	0	0	0	0	16	10	13	14
Type	Les sols bruns en place							Mouvements de masse	Les sols bruns colluviaux			Les sols vertiques colluviaux				Les sols vertiques en place					Tanolite en inter-grade

Les trois derniers tableaux présentés correspondent à l'aboutissement des traitements statistiques réalisés dans le cadre de cette thèse. Ils présentent ainsi le résultat final de toutes les typologies réalisées dans les chapitres V et VI.

Ils permettent de montrer comment les relevés médians se répartissent en fonction des types d'infraplexion. Ce faisant, cette répartition met en avant les types d'organisation qui déterminent les géons, les géotopes et les états du milieu qui servent à caractériser le contenu mésologique des segments de paysages : au final ce sont 11 types d'organisation de la géosphère répartis dans trois grand types de milieux qui sont mis en évidence. C'est à partir

d'eux que les modèles d'organisations verticales sont établis. Prenant place dans les facettes topographiques, ces modèles autorisent la caractérisation du contenu mésologique des segments de paysages.

CONCLUSION

La dernière série de traitements s'appuie, en entrée, sur les résultats obtenus dans le chapitre précédent. Elle est réalisée dans le but de déterminer les types d'états de la géosphère, en d'autres termes les géons et les différentes formes qu'ils présentent. Pour cela les résultats de la typologie des hoplexols sont repris et utilisés en tant que variables dans la table de contingence. Ils servent à comparer, au travers de leurs développements, les 144 relevés de milieu repérés sur le terrain. Suite à deux séries de traitements numériques (désormais classiques) il est possible de synthétiser l'information de départ dans 40 groupes de relevés dans un premier temps, eux-mêmes utiles à la distinction de 11 grands types d'organisations. Les résultats proposés en toute fin de chapitre sont ceux qui viendront caractériser les contenus mésologiques des segments de paysages : ils représentent les modèles d'organisation verticales dans les trois paysages concernés. Ici encore, les trois paysages furent une fois encore traités simultanément. Hormis le fait que comparer les milieux entre eux pour montrer leurs similitudes et leurs dissemblances est fort intéressant en soi, une double raison motive ce choix : tout d'abord cela permet la comparaison des bassins versants au travers des organisations qui s'y inscrivent. Nous verrons d'ailleurs par la suite que certains de leurs aspects permettent de les rapprocher tandis que d'autres les éloignent fondamentalement. Ensuite cela favorise la détermination d'un nombre limité de structures verticales, dont certaines communes à plusieurs paysages, ce qui facilite la définition des modèles d'organisation et hydrodynamiques. Toutefois seuls les résultats des opérations statistiques figurent dans ce chapitre. Les structures mises en évidence et les explications qu'elles autorisent tant au niveau des agencements qu'à celui des dynamiques, sont présentées ultérieurement. Il s'agit donc maintenant d'aborder la dernière partie de cette thèse et de présenter les modèles annoncés au départ de l'analyse !

DEUXIEME PARTIE

CONCLUSION

La seconde partie de cette thèse a permis la matérialisation des tous les éléments nécessaires à la réalisation des segments de paysages. En premier lieu un chapitre consacré à la définition des types de facettes topographiques permet d'en fixer les cadres en fonction des changements les plus significatifs dans les systèmes de pentes. Partant des unités topographiques élémentaires, directement repérées sur le terrain, et en les comparant statistiquement entre elles au travers des paramètres altitude moyenne, pente moyenne et orientation moyenne, chaque paysage considéré est alors découpé en quelques grand ensembles topographiques. Ces types de facettes topographiques permettent de fixer les limites spatiales des segments de paysages et de les inscrire dans les dynamiques directement impulsées par les changements dans le relief. Il est cependant entendu que ces types de facettes ne sont pas encore des segments à proprement parler pour la simple raison qu'elles n'intègrent par de contenus. Les enveloppes définies sont encore vides et de ce fait ne permettent qu'une interprétation très limitée des paysages pris en considération.

Dans un second temps ce sont les contenus qui sont analysés, en comparant les hoplexols relevés dans le milieu naturel au travers des volumes des composantes de la géosphère qui s'y inscrivent. La typologie des hoplexols ainsi réalisée s'appuie sur l'ensemble des données recueillies sur le terrain, tous paysages confondus, en scindant l'information au sein de cinq ensembles définissant (depuis l'acropause vers la catapause) des types : de couvertures forestières, de végétation herbacée, de surface du sol, de sol et enfin de formations géologiques superficielles. Procédant de cette manière, les quelques 1425 hoplexols initiaux (décrits par un volume d'environ 15000 composantes de la géosphère) identifiés sur le terrain sont rassemblés en 46 types répartis dans les 5 ensembles cités précédemment de la manière suivante : quatre types dans le supraplexion, neuf types dans le métaplexion supérieur, douze types dans le métaplexion strict, onze types dans le métaplexion inférieur et enfin neuf types dans l'infraplexion. Chacun des types ainsi défini renvoie déjà à des explications fort intéressante du point de vue de l'organisation du milieu naturel et de ses dynamiques, et même si la synthèse n'atteint pas encore un niveau suffisant, certains d'entre eux laissent d'ores et déjà transparaître une idée de relation forte entre organisation verticale du milieu et agencement topographique.

C'est d'ailleurs véritablement qu'au cours du dernier chapitre de cette partie que la synthèse attendue en matière d'organisation verticale du milieu est atteinte. Même si les types ne sont pas encore présentés du point de vue des explications qu'ils autorisent, les traitements réalisés permettent un nouveau regroupement à la fin duquel il ne reste plus que quelques types d'organisations : se basant en entrée sur les résultats de la typologie précédente, les relevés de milieu sont comparés entre eux au travers de leurs développements dans les différents types d'hoplexols qui les précisent. Procédant de cette manière, les traitements numériques favorisent la définition de 40 groupes de relevés puis de 11 types de relevés... Chaque type de relevé correspond alors à un ensemble d'états du milieu (rassemblant plusieurs groupes de relevés) ayant comme point commun des organisations similaires dans l'infraplexion mais se différenciant (soit de manière infime soit de manière singulière) dans le reste du profil vertical. Ces types d'états du milieu renvoient à ce que nous avons défini comme étant des géons. Ils assurent de cette manière le contenu mésologique des segments de paysages.

Cette seconde partie a donc à la fois permis la définition des cadres topographiques et mésologiques des paysages étudiés. L'étape ultime des traitements, c'est-à-dire la caractérisation et la cartographie des segments de paysages puis l'explication des organisations de la géosphère et de ses flux est désormais envisageable... C'est donc l'objet de la dernière partie de cette thèse.

TROISIEME PARTIE

***LES ORGANISATIONS SPATIALES MISES
EN EVIDENCE ET LES ELEMENTS
D'EXPLICATION AUXQUELS ELLES
RENVOIENT...***

TROISIEME PARTIE

INTRODUCTION

La partie précédente de ce rapport a permis la mise en évidence, au travers de deux séries de traitements statistiques clairement distingués, les éléments nécessaires à la segmentation du paysage. Elle réalise en effet la typologie des facettes topographiques d'une part et celle des géons de la géosphère rencontrés d'autre part. En d'autres termes, elle amène tous les éléments nécessaires à la détermination des unités explicatives de l'organisation globale de la géosphère. Comme le veut leur définition, les segments de paysages naissent en effet de la confrontation entre les systèmes de pentes et les types d'organisations du milieu naturel qui y prennent place. Il s'agit donc maintenant de présenter les résultats obtenus et de réaliser le modèle permettant l'explication du cheminement de l'eau dans les milieux étudiés.

La dernière partie de ce rapport s'articule autour de deux chapitres et permet de répondre à la problématique qui renvoie, rappelons le, à la question du devenir de l'eau dans le milieu naturel et aux conséquences que ses flux imposent à la géosphère.

Ainsi le septième chapitre de cette thèse s'attache à présenter les types de milieu obtenus à partir des traitements statistiques réalisés précédemment : il permet à ce titre de définir les modèles d'organisations verticales de la géosphère dans les paysages rencontrés. Toutefois, les résultats proposés ne renvoient encore qu'à une définition aspatiale des géons : ils présentent des modèles absolus qui ne prennent pas encore en compte les distinctions spatiales inhérentes au milieu naturel. L'analyse fine de ces organisations est cependant nécessaire car elles mettent en évidence les agencements élémentaires dans les paysages étudiés. La compréhension de ces agencements est nécessaire à la segmentation du paysage et à l'analyse de ces flux.

Le second chapitre de cette partie correspond au dernier point abordé dans cette étude. A ce titre, il permet le découpage en segments de paysages pour le bassin versant de Kamech. Pour ce faire, la synthèse paysagère qu'il réalise s'établit en deux temps. En premier lieu, il s'attache à rapprocher les organisations paysagères et les contextes topographiques dans lesquels elles s'inscrivent le long des toposéquences nécessaire à l'analyse. De cette manière, il permet de placer les géons dans les types de facettes topographiques qui leurs correspondent. Ce faisant, il met en relation les organisations verticales avec les systèmes de pentes et autorise alors la définition de segment de paysage. Une fois défini le long des profils topographiques, ces derniers sont alors spatialisés par couplage avec les unités topographiques élémentaires et permettent ainsi la définition des segments de paysages attendus et des interprétations qu'ils autorisent.

CHAPITRE VII

GEONS, GEOTOPES ET ETATS DUMILIEU

INTRODUCTION

Les typologies désormais achevées, il est maintenant important de présenter les résultats qu'elles proposent et de fournir les explications et les comparaisons attendues en terme d'organisation du milieu naturel. Ce septième chapitre présente donc les types d'organisations retenus qui seront, par la suite, intégrés aux facettes topographiques pour déterminer les segments de paysages. Les constructions réalisées sont définies de manière aspatiale et atemporelle : elles ne montrent que l'état des géons mesuré au temps T0 sans chercher à mettre en évidence les implications spatiales et les successions chronologiques dans lesquels ils s'inscrivent. Ces *résultats bruts* sont fort intéressants puisqu'ils conduisent à l'élaboration de *modèles verticaux d'organisations* qu'il est possible de comparer à la fois en terme d'agencement, de dynamique mais aussi en fonction des paysages au sein desquels ils se répartissent. De ce fait, ils autorisent des confrontations entre les trois bassins versants et mettent en avant les points de divergences et de convergences existants entre eux. Ce chapitre s'articule autour de quatre paragraphes : le premier présente les termes employés et s'attache à définir les notions élémentaires à la compréhension des organisations mises en évidence. Les paragraphes suivants présentent séparément les trois types de milieux individualisés à la fin du chapitre précédent. Sont ainsi présentés : les types de milieux régoliques, les types de milieux kéritiques et enfin les types de milieux tanoliques.

VII.1 - LES NOTIONS ELEMENTAIRES POUR COMPRENDRE LES RESULTATS PROPOSES.

Les organisations verticales retenues à partir des traitements statistiques sont présentées au travers de trois points, chaque point représentant un des groupes cités précédemment. Nous procéderons du moins fréquent au plus fréquent et commencerons donc par les géons régoliques puis par les géons kéritiques et enfin par les géons tanoliques.

Avant d'aborder ce sujet, il est nécessaire d'apporter quelques précision sur les termes employés dans la différenciation des types de géons car tous ne se positionnent pas sur un même plan organisationnel. Il arrive en effet très souvent que pour un type de milieu donné, plusieurs différences significatives apparaissent. Elles méritent de ce fait d'être signalées et analysées indépendamment des autres.

Ainsi, dans un premier temps, nous chercherons toujours à mettre en évidence l'organisation considérée comme la plus typique et la plus représentative. En d'autres termes, la succession verticale la plus *pure* que l'on est amenée à rencontrer dans le milieu naturel ; celle qui définit en quelque sorte le *modèle parfait*. Presque théorique de par les successions de types d'hoplexols et les dynamiques qui le caractérisent, ce modèle d'organisation est aussi celui qui explique le mieux le phénomène à analyser. Ce modèle est considéré comme un *orthotype*.

Comme tout orthotype, notamment ceux utilisés pour définir les composantes de la géosphère, cette entité parfaite n'est quasiment jamais réalisée telle quel dans la nature : si un tassikérite est considéré comme un *modèle de composante*, celui-ci se retrouve plus souvent sous des

formes dérivées telles que alté-tassikérite / tafé-tassikérite / tassi-entaféron / tassikérite à phase brunichrome dans le milieu naturel. Il en va de même pour les *géons orthotypes*. Ceux-ci sont très rares, presque exclusifs, si bien qu'ils ne correspondent pas aux formes les plus fréquemment rencontrées dans le milieu et encore moins aux successions les plus complexes que l'on est amené à concevoir. De ce fait, chaque modèle établi se décline bien souvent en *variantes* et *intergrades* dont le but est de fournir une de ses représentations tout en caractérisant le plus fidèlement possible le milieu dans lequel il s'inscrit.

Un *intergrade* est ici considéré comme un type de géon qui s'établit entre deux ou plusieurs *figures uniques* de l'infraplexion. Par exemple, si les formations géologiques superficielles correspondent à une alternance rapide régolite / tanolite, il est peu probable que les orthotypes définis séparément sur l'un ou l'autre des ensembles considérés soient réalisés dans leur intégralité et sans interférences entre eux. Il existe alors un agencement situé à l'intermédiaire de chacun des orthotypes concernés et qui renvoie de manière inégale, incomplète et souvent aléatoire aux formes qui les caractérisent. Notons d'ailleurs que ces intergrades sont bien souvent difficiles à repérer car en fonction du développement des types d'hoplexols qui s'y inscrivent ils se rattachent préférentiellement à des groupes établis statistiquement et ne sont par conséquent pas perceptibles en lecture directe des résultats. En tout état de cause, les intergrades les plus significatifs et les plus représentatifs d'une succession peuvent également être considérés comme des modèles d'organisations à part entière et sont donc définis comme des géons (*géons en intergrade*)...

Les *variantes* correspondent à des changements plus subtils, presque infimes, à l'intérieur d'un orthotype. En effet, une succession typique peut parfois être légèrement perturbée sans que cela n'affecte l'ensemble du profil : un changement dans la nature du sol, une dynamique de mise en place différente, la présence d'éléments du supraplexion ou encore la pression anthropique sont autant d'éléments qui entraînent des modifications visibles et dont il faut tenir compte, sans pour autant avoir besoin de définir un modèle différent. Sont alors considérées comme des *variantes majeures* toutes les modifications substantielles à l'intérieur d'un géon, c'est-à-dire qui affectent plus durablement le milieu naturel ou qui résultent de processus différents quant à leur mise en place. Nous parlerons de *géotopes* pour les caractériser. Enfin il est également possible de rencontrer des formes différentes au sein d'un orthotype, mais qui sont plus éphémères et qui n'affectent pas ou très peu son organisation globale. Une mise en valeur par une culture céréalière juxtaposée à une jachère, la croissance des plantes ou encore les formes du dermilite décrivent toujours le même géon mais dans des états différents. Ces changements brefs à l'échelle du paysage conduisent à caractériser ce que nous nommerons *variantes secondaires*. Elles se placent dans un même orthotype mais correspondent à des *nuances latérales ou temporaires*. A ce titre, ces variantes secondaires sont un atout précieux dès lors que l'on cherche à imaginer le devenir à court terme du paysage. Elles sont d'ailleurs un des points de départ de la réflexion pour la représentation des changements saisonniers. Les variantes majeures quant à elles permettent de comprendre comment le milieu peut évoluer sur le moyen et long terme. Dans notre cas cela sera tout au plus évoqué (mais jamais abordé précisément) d'une part car le risque d'erreur est bien trop grand pour tirer ce genre de conclusions et d'autre part parce qu'il s'avère que ce n'est pas véritablement utile pour qualifier les cheminements de l'eau dans les paysages concernés. Notons enfin que les termes géons et géotopes employés pour l'instant servent à caractériser des *modèles absolus*, dans le sens où ils ne prennent pas en compte les caractéristiques et les répartitions spatiales. Lors de la mise en œuvre des segments de paysages, il est probable que certains d'entre eux soient quelque peu *reformulés* pour entrer de la manière la plus juste possible dans le cadre spatial auquel ils appartiennent. Lorsque de tels arrangements sont réalisés, ils sont toujours signalés afin que le lecteur puisse s'y retrouver convenablement.

Pour achever cette présentation il faut signaler que malheureusement aucun vocabulaire précis et intégrateur, comme il en existe pour les composantes de la géosphère et les segments de paysages, n'est défini à ce jour pour caractériser les types de milieux. Il y a dans la nature trop d'arrangements possibles pour que cela puisse être envisagé sereinement : la détermination préalable de types de géons impliquerait la définition d'un nombre trop important d'orthotypes pour qu'un tel vocabulaire soit d'une part mis en place et d'autre part utilisé facilement. De ce fait, il est nécessaire de procéder au cas par cas, paysage par paysage, géon par géon, analyse par analyse... Chaque étude met en avant de nouvelles formes d'organisations verticales et apporte une nouvelle pierre à l'édifice si bien qu'il sera peut-être possible un jour de créer ce vocabulaire. Malgré cette absence, les règles de l'ATM restent les mêmes puisque la définition des types de géons s'appuie sur les principes d'orthotypes, d'intergrades et de variantes, à cela près qu'ils ne s'appliquent pas à des matériaux définis par des mots mais à des organisations complètes, reproductibles dans une certaine mesure mais encore indéfinissables d'un point de vue sémantique.

VII.2 - ORTHOTYPES, VARIANTES ET INTERGRADES DANS LES MILIEUX RÉGOLIQUES.

Les milieux régoliques sont les moins représentés. Ils apparaissent dans un nombre limité de points de mesure : 14 relevés de milieu, soit environ 10 % de l'ensemble, réunis autour de 9 relevés médians. Toutes les formes observées au niveau du régolite, quelque soit leur nature n'apparaissent que sur les bassins versants de Kamech et d'El Hnach.

Malgré cette faible représentation, il est tout de même possible de définir trois *géons orthotypes*, c'est-à-dire développés exclusivement sur des régolites ou des formes dérivées du régolite, et deux géons en intergrade avec des matériaux tanoliques. Quelques variantes très intéressantes du point de vue de la dynamique du milieu naturel sont également à signaler.

VII.2.1 - Lorsque le régolite se trouve en profondeur.

Le premier type d'organisation lié au régolite se développe sur une forme pure de ce matériau (figure 7.1). Cet ensemble définit deux géons et quatre géotopes avec comme base exclusive l'alté-régolite de type InI et un géon en intergrade réalisé sur une succession alté-régolite (InI) / isaltérite (InV).

Le **premier géon** rencontré (**orthotype 1**), rattaché au relevé médian Re12, correspond à des formations qui se développent en profondeur. A ce titre, le substrat régolique calcaire peu altéré figure sous une importante couche de sol mêlant à la fois des blocs de pierre, témoignant de l'ancienne extension de la roche mère, et des sols bruns marquant des processus de brunification (FVII et FX). En surface, un pavage caillouteux prend place. Essentiellement composé de mésoépilites, ce pavage se répartit en deux composantes : une fraction est incluse dans la surface du sol (TV) tandis que l'autre est posée sur cette dernière (TIV). La végétation qui prend place sur cet ensemble correspond à une steppe clairsemée pérenne (UIV), moyennement développée, et marquée par des formes d'extensions saisonnières (UVIII). Ce géon se place à mi-pente sur la troisième toposéquence d'El Hnach, sur un versant pentu. Il se décline en deux variantes.

La première que l'on est amené à percevoir est une **variante secondaire**. Elle est liée au relevé médian Re23 et ne renvoie qu'à une seule observation du paysage d'El Hnach (ELH Q4 R6). Identique du point de vue des sols et des formations géologiques superficielles, cette variante secondaire se distingue de son orthotype par des dynamiques végétales différentes : elles sont liées à l'homme et s'inscrivent dans le cadre d'une parcelle agricole laissée en

jachère. La surface du sol est de ce fait également différente. En tout état de cause, cet *état du géon* est plus affecté par des changements brusques dans le temps qui auront nécessairement des répercussions sur le cheminement de l'eau dans le milieu et sur la contribution des espaces concernés au ruissellement global. Les différences constatées montrent cependant que l'homme n'exerce, dans ce cas, qu'une action limitée sur le paysage puisque elle n'affecte *que* la surface du sol et la végétation.

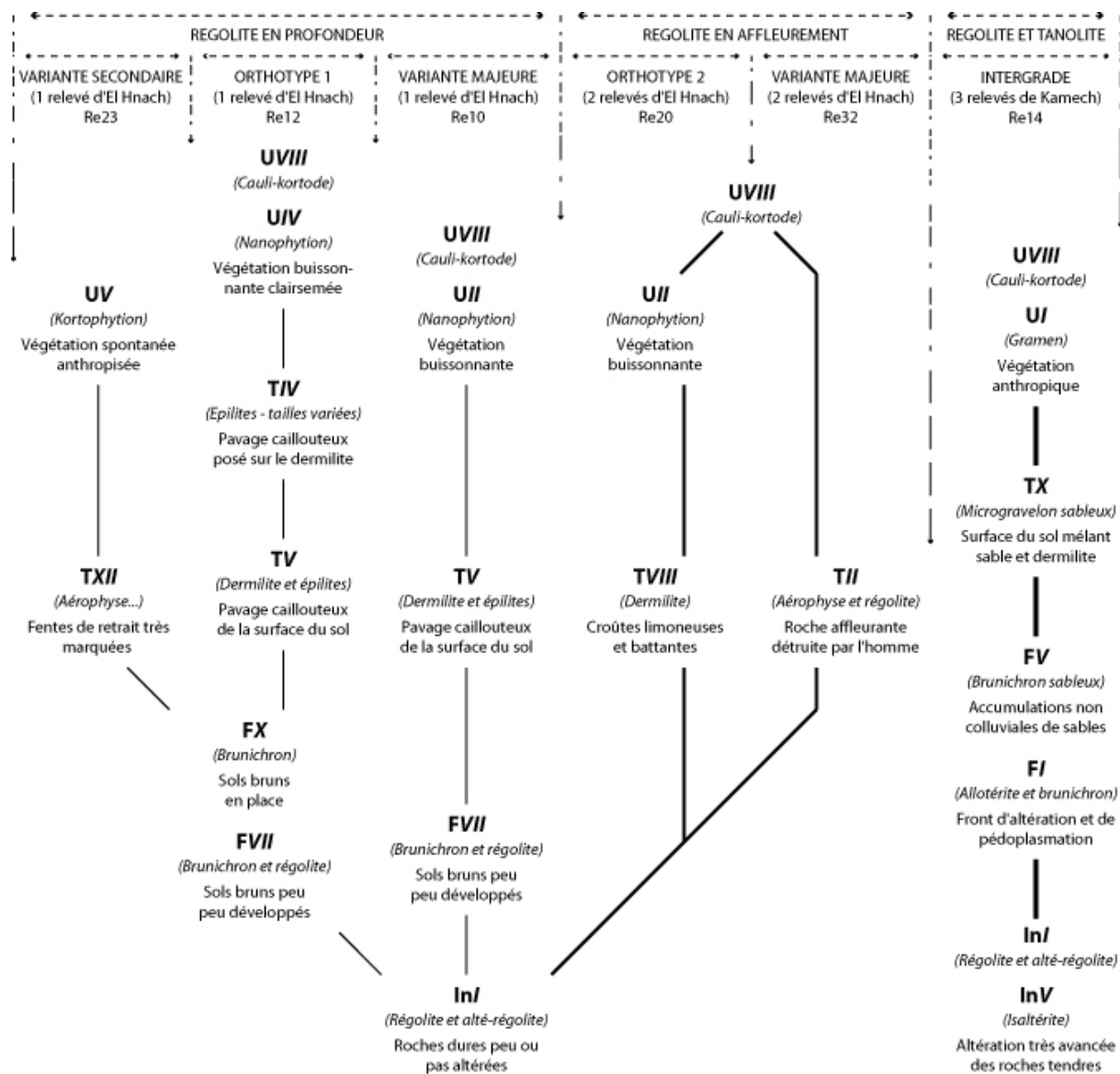


Figure 7.1: Géons, géotopes et états du milieu naturel sur substrat régolique peu altéré.

Sur cette figure, tous les types d'arrangements verticaux établis sur substrat régolique sont rassemblés. L'arbre ainsi formé renvoie aux formes d'organisation les plus typiques mises en évidence par les traitements numériques. Les liaisons entre les différents types d'hoplexols montrent d'une part les successions verticales rencontrées : elles traduisent ainsi des organisations du milieu naturel qui prennent place dans les segments de paysages. D'autre part, elles montrent la fréquence de chaque type d'organisation. Les traits les plus épais renvoient aux agencements les plus rencontrés dans le milieu et inversement lorsque les traits sont fins. Attention cependant, cette fréquence est relative : elle fait uniquement référence aux successions établies dans le cadre de cette figure. Elles ne se placent donc pas par rapport à l'ensemble des observations. Représenter les fréquences absolues n'aurait d'ailleurs pas de sens ici : elles ne doivent intervenir que lors de la recombinaison complète du paysage.

Une **variante majeure** existe également. La différence principale avec son orthotype est liée à un développement moins important du métaplexion inférieur. Le géotope qu'elle définit s'inscrit sur le revers du relief structural d'El Hnach. Il ne correspond qu'à un seul point de mesure de la géosphère : ELH Q2 R3. Etabli sur le revers d'un affleurement calcaire de taille plus conséquente, les sols de cette variante se limitent à quelques centimètres d'épaisseur et se développent surtout suivant les réseaux de diaclases du régolite. Ils restent toutefois de même nature que ceux de l'orthotype (FVII). La végétation de steppe est également plus basse. Elle se compose en grande majorité de nanophytion (UII) et est également marquée par des extensions verticales saisonnières des rares végétaux herbacés (UVIII) qui s'y inscrivent.

Le **second géon (intergrade)** défini correspond également à un milieu assez profond. Il apparaît exclusivement sur la rive gauche de Kamech, au sein des facettes topographiques de versant (types 1 et 3). Il est défini par le relevé médian Re14 et regroupe en tout trois points de mesure du même paysage. Ce second géon se développe lorsque le substrat régolique est établi en couches assez conséquentes disposées en alternance avec un tanolite marneux très altéré. Dans le cas qui nous concerne, le régolite change de nature : il ne s'agit plus de calcaires mais de grès.

Du fait de la nature mixte du substrat, ce géon est marqué par deux particularités qui le distinguent du premier :

- Tout d'abord il affiche des matériaux issus de l'altération plus ou moins avancée du tanolite. Figurent ainsi au niveau de l'infraplexion des isaltérites (InV) et au niveau du métaplexion inférieur un mélange d'allotérite et de brunichron (FI) laissant présager des dynamiques pédogénétiques en cours à l'heure actuelle.
- Ensuite, la nature du régolite est favorable à la mise en place d'un sol brun sableux (FV) et d'une surface du *sol* également composée d'un mélange de dermilite et de sable (TX). Ces sables sont directement issus de l'altération de la roche mère et n'ont subi aucun mouvement latéral comme le laisse supposer la position dominante dans le milieu des relevés concernés.

La nature de la végétation tend en revanche à le rapprocher du premier ensemble puisqu'il s'inscrit sur une parcelle agricole. Celle-ci est toutefois mise en valeur l'année où le relevé fut réalisé. De ce fait, le métaplexion supérieur est décrit par des hoplexols de type UI. Cependant, comme cela a déjà été signalé, le passage de UI (parcelle cultivée) à UV (parcelle en jachère) est facilement envisageable et doit être considérée comme un *changement d'état à part entière* même si ce dernier n'est pas directement relevé sur le terrain.

VII.2.2 - Lorsque le régolite affleure à la surface du « sol ».

Les deux organisations signalées sont à mettre en relation avec un troisième ensemble. Toujours basé sur un substrat régolique peu altéré, celui-ci se distingue des précédents par l'absence de métaplexion inférieur : les sols sont presque inexistantes et la roche mère (calcaire) affleure en surface. Sur la figure 7.1, le géon ainsi défini correspond à **l'orthotype 2**. Il apparaît sur la première toposéquence d'El Hnach et correspond à quatre relevés de milieu : les trois premiers se placent au départ de la première toposéquence (ELH Q1 R1 à ELH Q1 R3) et le second se localise sur le revers du même relief (ELH Q2 R2). Centré autour du relevé médian Re20, le géon ainsi défini correspond à la plus grande partie de la section sommitale du relief de commandement calcaire d'El Hnach. Très ruisselant de part sa nature et la quasi-absence de sol, cet ensemble n'oppose pas non plus de réelle

résistance au cheminement vertical de l'eau dans le milieu. En effet la végétation basse qui le caractérise (*UII*), bien que localement assez touffue, ne couvre pas une surface suffisante pour limiter l'impact de la pluie. La majeure partie des espaces considérés est d'ailleurs souvent marquée par la mise en commun de la catapause, de l'épipause et de l'acropause. Cette limite unique correspondant aux endroits où le régolite affleure directement (soit plus de 90 % de l'ensemble). Toutefois, si les caractéristiques de cet ensemble le rendent très ruisselant, sa contribution en matière d'érosion est plus limitée, et pour cause : il n'existe pas de sols en ces lieux.

Ce géon se décline sous une forme quelque peu différente du point de vue de l'organisation : une **variante majeure**, liée à l'action anthropique prend forme sur ces toposéquences. Rattachée au relevé médian Re32, le géotope qui se dessine correspond à un ancien régolite affleurant, mais marqué par une surface très irrégulière mêlant de gros blocs calcaires anguleux, quelques traces de sol brun et des éléments végétaux nanophytiques et kortophytiques. Tout cela se mélange dans le métaplexion strict si bien qu'il n'est plus possible de percevoir la *stratification habituelle* du milieu naturel. Ce phénomène est d'ailleurs bien visible sur la figure 7.1 car en plus de l'absence du métaplexion inférieur qui, elle, est naturelle, le métaplexion supérieur apparaît comme indissociable du métaplexion strict (*TII*). Seule les formes de croissance saisonnière des végétaux (*UVIII*) ramènent un *semblant d'ordre* dans cette organisation. Ceci est lié à un phénomène déjà expliqué dans les chapitres précédents : ce géotope a été mis en place récemment et il résulte d'une action anthropique destructrice et irréversible. En *labourant* le régolite d'origine dans le but de mettre en place des dispositifs de lutte contre le ruissellement, les hommes ont créé cette entité si particulière.

Une nuance doit cependant être apportée au sujet de ce géotope. En effet, les deux relevés qu'il définit ne se placent pas dans le même ensemble morphologique. Si le relevé médian (ELH Q2 R1) choisi pour ce groupe se place dans le cadre du relief de commandement calcaire, le second relevé (ELH Q1 R4) correspond en fait au point de départ du glaciaire. A ce titre l'infaplexion ne correspond pas à un régolite calcaire mais à un tassikérite.

Cette divergence met l'accent sur la difficulté de mettre en place des types de milieu, du simple fait de leur grande diversité. En effet, si les agencements qu'ils affichent et les dynamiques qu'ils mettent en évidence sont les mêmes, les organisations auxquelles ils renvoient sont clairement distinctes : un ensemble de calcaire massif d'un côté et des calcaires précipités sous la forme d'une croûte continue et résistante de l'autre. De ce fait rattacher ce géotope à l'un ou l'autre des ensembles (régolique ou kéritique) entraîne un artéfact dans le modèle final. Ce genre d'artéfact est malheureusement inéluctable dès lors que l'on cherche un niveau de synthèse suffisant. D'ailleurs le choix de regroupement réalisé ici aurait peut-être été différent si nous avions disposé d'un *relevé témoin* c'est-à-dire établi sur *tassikérite affleurant mais non détruit* pour le paysage d'El Hnach. Or ce n'est pas le cas et de ce fait, séparer les deux relevés inscrits *volontairement* dans ce géotope est probablement plus préjudiciable que de les réunir. Il est tout de même important de justifier le choix opéré : dans ce cas c'est le critère d'extension spatiale qui a prévalu sur celui de l'organisation du milieu et c'est pourquoi ce géotope est défini par le relevé médian ELH Q2 R1. Nous couvrons ainsi un espace plus vaste et donc plus représentatif du milieu dans le modèle. Notons toutefois que d'un point de vue dynamique les deux ensembles concernés ne varient pas outre mesure : c'est l'action de l'homme qui influence le milieu et les résultats de son intervention se marquent au niveau des flux hydriques et érosifs. De ce fait, les réunir ne pose pas de réel problème d'interprétation.

Pour achever cette analyse, il faut également rappeler que l'action anthropique est à mettre en liaison directe avec les flux d'eau survenant au sein des espaces concernés : ce géon, dans son état d'origine (et indépendamment de sa nature), contribue activement aux flux hydriques

globaux si bien que dans une optique de protection contre les crues il apparaît comme nécessaire de casser les écoulements qui y prennent forme. Le géotope qui découle de l'action de l'homme, uniquement réalisé dans ce but, apparaît alors comme un reflet de cette évidence. Pris dans ce sens, il nous renseigne sur l'importance du ruissellement sur ce type de géon, même si en l'état actuel des choses le géotope concerné n'a plus qu'une action limitée de ce point de vue.

VII.2.3 - Lorsque le régolite est très fortement altéré.

Le second ensemble que l'on est amené à considérer (figure 7.2) correspond à des milieux établis sur un substrat régolique très altéré et dont il ne subsiste plus que quelques formes rappelant le matériau d'origine. Seulement 4 relevés de Kamech, répartis autour de trois relevés médians, prennent place dans cette partie de l'analyse. De ce fait, les espaces concernés sont vraiment minimes. Mais les formes mises en évidence font ressortir des éléments capitaux dont il est impératif de tenir compte dans l'explication des organisations paysagères et en ce qui concerne les flux qui y transitent. Ces quatre relevés font apparaître un géon orthotype, correspondant à la forme la plus parfaite parmi les relevés marqués par l'altération géochimique des grès, et un géon en intergrade montrant une différence au niveau de l'infraplexion. En outre une variante secondaire rattachée au géon orthotype est également à signaler.

Le **géon orthotype** défini dans ce cadre est matérialisé par un unique relevé : KAM Q1 R6. Ses caractéristiques font qu'il s'agit certainement du plus curieux, du plus particulier et du plus inattendu des géons parmi tous ceux rencontrés sur le terrain. Si son sol se distingue clairement des autres par sa nature et sa texture, c'est essentiellement sa couleur jaune bariolée de rouge et d'ocre qui le différencie le plus nettement : il s'oppose de cette manière à tous les sols rencontrés qui s'affichent préférentiellement dans des nuances peu contrastées de marron, de beige ou de gris.

Etabli sur un ensemble pardi-réductique épais (le régolite sous-jacent n'est jamais visible), correspondant à une altération géochimique des affleurements gréseux de Kamech, ce géon développe d'une part des matériaux argileux vivement colorés par des oxydes de fer (In/I) et d'autre part des sols très sableux (FV), partiellement lessivés et donc quelque peu appauvris en argiles. Il redevient en revanche plus classique au niveau du métaplexion strict où il présente une croûte de battance (TXI) à l'intérieur de laquelle ne figurent pas ou peu de microgravelons sableux (comme cela aurait pu être supposé à la vue du reste du profil) et dans le métaplexion supérieur caractérisé par une végétation buissonnante dense et pérenne, typique des talus de Kamech (UII). En ces lieux cette forme de végétation est cependant sujette à caution. Elle n'occupe en effet qu'une bande d'environ 1 mètre de large séparant deux parcelles agricoles alors qu'elle s'établit *normalement* dans des espaces délaissés par l'homme, notamment des talus marqués par une forte pente. Sa présence ici est uniquement due à la décision anthropique de distinguer deux unités spatiales. De ce fait, elle apparaît comme une exception dans le milieu ; la plupart des organisations de ce genre sont en effet rattachées à sa **variante secondaire** (KAM Q1 R6S) décrivant une parcelle agricole cultivée (UI).

Enfin, il est important de préciser que ce type de géon n'est présent qu'en rive droite du bassin versant de Kamech. Il s'étend sur une bande unique caractérisant un affleurement de grès assez puissant qui marque approximativement la limite entre les facettes topographiques des types 2 et 5. C'est d'ailleurs très probablement du fait de cette position intermédiaire dans le paysage que son action sur les flux d'eau conduit à la mise en place d'une telle structure. Sans entrer dans le détail il est tout de même possible d'affirmer que la barrière imperméable qu'il représente bloque les écoulements hypodermiques et entraîne la présence d'une nappe

temporaire. C'est cette dernière qui est responsable des processus d'altération géochimiques signalés au chapitre précédent et dont le résultat est le pseudogley actuel.

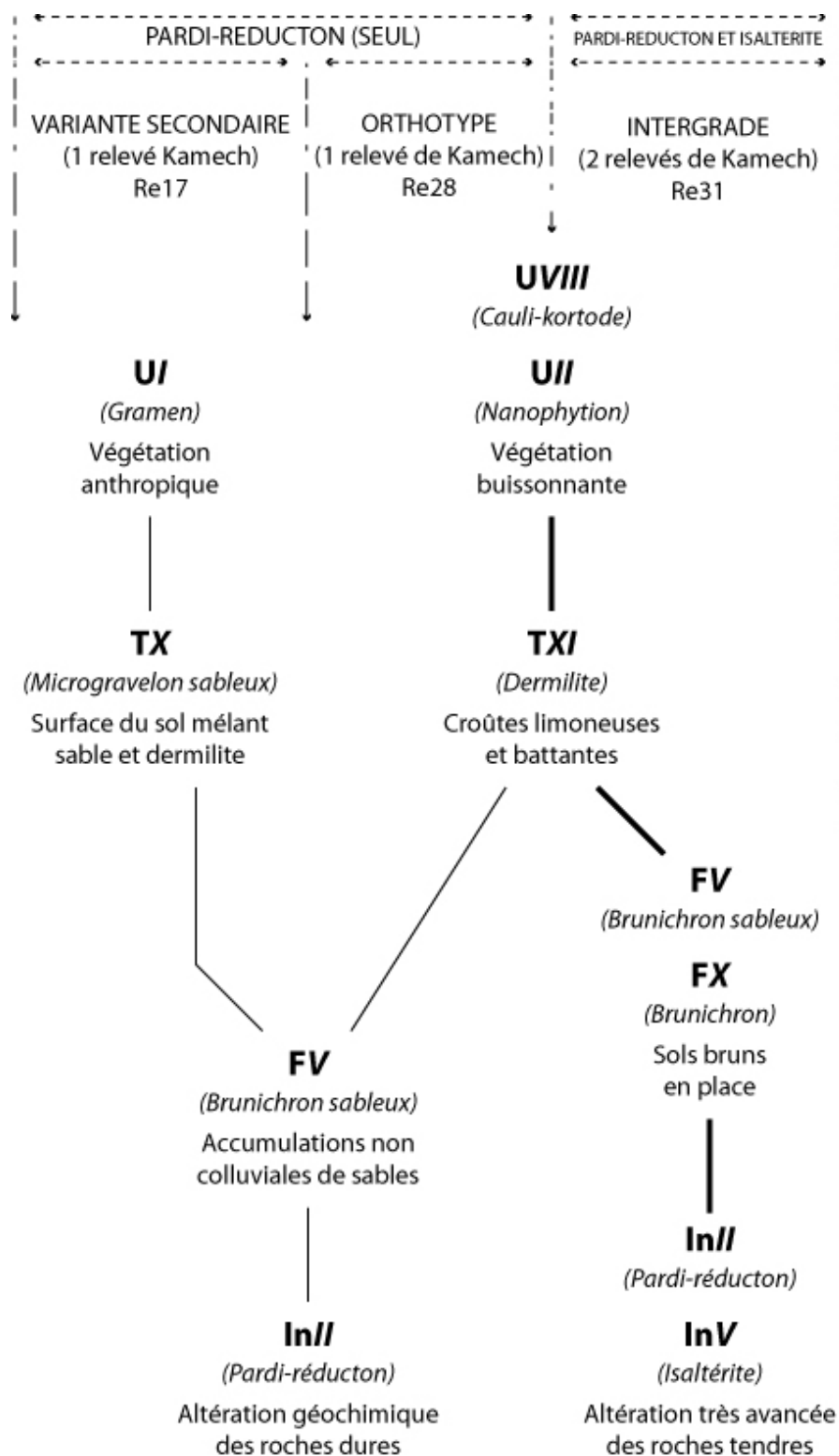


Figure 7.2 : Géons, géotopes et états du milieu naturel sur substrat régolique très altéré (pardi-réductique).

Le **géon intergrade**, matérialisé par le relevé médian Re31 se développe dans un contexte topographique similaire (bien que situé en rive gauche...) : une pente peu marquée et une position dominante dans le paysage. Il se distingue cependant d'un point de vue géologique

car il s'inscrit dans le cadre d'une alternance grès / marne pour laquelle des couches peu épaisses se succèdent rapidement. Il en résulte une nette différence perceptible dès l'infraplexion puisqu'à côté du pseudogley (InII) figure un isaltérite marneux (InV). Cette particularité ressort également au niveau du métaplexion inférieur avec la présence alternée de brunichron (FX) et de brunichron sableux (FV). Cet intergrade est donc en toute logique plus complexe que son orthotype. En revanche, en ce qui concerne le métaplexion strict et supérieur, les organisations en place restent identiques. Dans ce cas toutefois, elles occupent une position *normale* dans le milieu, au sein d'un espace délaissé par l'homme.

Pour aller plus loin dans cette analyse, il s'avère qu'un élément important transparait au travers de ce géon intergrade. En effet, l'organisation mise en avant par cette entité correspond à une seconde forme de pardi-réducton pour le paysage de Kamech. Au final, et même si elle se situe à l'intergrade avec InV, la présence de ce type d'hoplexol en dehors de la rive droite de Kamech témoigne d'une organisation qui se répète au sein du même paysage. Bien que ce fait paraisse anodin au premier abord, il connote en fait l'idée d'une structure identique entre les deux rives, pourtant fondamentalement opposées sur le plan géomorphologique : la rive droite correspondant au revers des couches géologiques et la rive gauche s'établissant sur leur front. Mais qu'en est-il réellement ? Pour répondre à cette question, il faut se rappeler d'un élément signalé au chapitre IV, notamment au paragraphe IV.3.2.2 relatif aux découpage en facettes topographiques du bassin versant de Kamech. En effet, le second type de facettes topographiques renvoi à des ensembles établis en rive droite, sur le revers des couches, mais une enclave de facettes de type 2 est également signalée en rive gauche. Elle témoigne alors d'une structure topographique établie sur un revers géologique au sein de facettes de front. Curieusement, c'est au niveau de cette entité que ce géon en intergrade apparaît : les deux relevés de milieu qui s'inscrivent dans ce type de géon se localisent dans cette enclave. Ceci est peut-être le simple fruit du hasard, mais il s'avère que les deux seuls endroits où apparaissent des géons marqués par la présence d'un pseudogley sur le bassin versant de Kamech correspondent à un revers géologique. Partout ailleurs, et donc sur les facettes de front, les formes d'altération des grès sont différentes (elles seront évoquées plus loin dans l'analyse). Il est donc très fortement probable que ce type d'organisation géomorphologique soit responsable de ce type d'organisation paysagère. L'impact de la structure géologique sur les flux hydriques paraît donc confirmé : une fois encore les affleurements gréseux agissent comme une barrière favorable au maintien d'une nappe d'eau temporaire, le temps nécessaire aux processus responsables de la mise en place d'une telle construction altéritique. La seule différence réside alors dans le fait qu'ici existe une alternance grès / marnes, ce qui conduit à la distinction d'un intergrade quelque peu différent de son orthotype du point de vue organisationnel.

Rappelons enfin (et même si cela semble manquer de rigueur scientifique) que le découpage en facettes topographiques et les relevés de milieu furent réalisés avec deux ans d'intervalle. Au départ, donc au printemps 2002, nous n'avions aucune idée de ce qui nous attendrait par la suite et encore moins de la structuration profonde du milieu naturel. Il se vérifie cependant que deux séries d'observations clairement distinctes d'un point de vue temporel et méthodologique aboutissent à une même conclusion, sans que cela ne fût prémédité. Ce fait peut évidemment être fortuit... mais après tout pourquoi pas ! Il est donc possible, en l'état actuel des connaissances, d'affirmer qu'il existe bel et bien une réelle concordance entre les types de facettes topographiques et les types de géons. Bien entendu seules des mesures supplémentaires réalisées par des opérateurs différents et non informés pourraient confirmer ou infirmer ce propos. Nous nous en tiendrons cependant à cette explication pour justifier le découpage en segments de paysages et le cheminement des flux hydriques dans le milieu naturel.

Le premier ensemble défini, caractérisé par 5 géons souvent divisés en géotopes et en *états* différents, montre déjà toute la difficulté de faire apparaître des *types de milieux* et surtout de les définir par un vocabulaire précis. Pourtant, seulement 14 relevés de milieu sont pris en compte pour l'instant (9 % des observations). Selon la position dans la paysage, les variables climatiques ou les actions anthropiques, les arrangements verticaux varient de manière sensible même s'ils appartiennent au même paysage et malgré le fait qu'ils se développent sur une base commune. Ainsi des organisations apparaissent et disparaissent d'un lieu à l'autre, changent de nature ou encore présentent une diversité d'états selon l'espace considéré. Les notions de variantes et d'intergrade prennent alors toute leur valeur puisqu'elles permettent des distinctions intéressantes tout en tâchant de rester synthétique et de ne pas se disperser. Elles apportent de ce fait de nombreuses précisions sur le milieu naturel, facilitent les comparaisons et aident à la réalisation d'une explication globale et cohérente de ce dernier.

VII.3 - ORTHOTYPES, VARIANTES ET INTERGRADES DANS LES MILIEUX KERITIQUES.

Les milieux kéritiques représentent un ensemble déjà plus conséquent. Ils englobent en effet onze relevés médians définissant eux même quarante deux relevés de milieux soit environ 29 % de l'ensemble des observations réalisées sur les trois paysages.

Cette entité définit un des types de milieux les plus caractéristiques du monde méditerranéen semi-aride : les croûtes et encroûtements calcaires. A ce titre, les relevés qui s'y inscrivent se répartissent majoritairement sur les glacis d'El Hnach et d'Abdeladim, mais quelques variantes intéressantes sont également recensées dans des lieux moins attendus comme par exemple les forêts d'Abdeladim. Il est possible de scinder les observations en trois grands ensembles : les milieux développés exclusivement sur des tafékérites, les milieux exclusivement développés sur des alté-tassikérites et enfin des milieux plus contrastés qui associent à la fois tafékérite, tassikérite et alté-tassikérite. Ces trois ensembles sont présentés séparément dans l'analyse qui suit.

VII.3.1 - Les encroûtements calcaires.

Le **premier type de géon** que l'on est amené à concevoir correspond aux encroûtements calcaires. Il réunit seulement 6 relevés de milieu, ce qui témoigne de sa rareté. L'orthotype se localise sur le bassin versant d'El Hnach (première toposéquence), mais il est possible de le décliner en deux variantes majeures intéressantes et d'en présenter deux états différents du point de vue de la nature de la végétation.

Le géon caractérisant les milieux développés sur des encroûtements calcaires est représenté par trois points de mesure de la géosphère sur le bassin versant d'El Hnach. Plus précisément, ces trois relevés de milieu (ELH Q1 R7, ELH Q1 R8 et ELH Q1 R9) apparaissent en partie médiane du glacis de la première toposéquence.

Centrés autour du relevé médian Re15 cet **orthotype** se définit par un tafékérite massif peu épais (In/X), du moins d'après ce qu'il nous a été donné de mesurer sur le terrain. Ces encroûtements se développent à faible profondeur, dans un ensemble de sols colluviaux à l'intérieur desquels figurent de nombreuses traces de concentrations des calcaires (F/V), depuis le pseudo-mycélium jusqu'à des concentrations nodulaires de la taille de graviers. Ces sols colluviaux, de couleur brun pâle, résultent d'une mise en place probablement très ancienne. Ils affichent une texture limoneuse due à un important lessivage oblique et sont très battants en surface (TXI). Malgré une faible capacité à retenir l'eau et en dépit de l'aspect très appauvri des sols, les hommes occupent ces espaces pour une mise en culture céréalière. De

ce fait, le métaplexion est décrit par le type d'hoplexol **UI**. Une **variante secondaire** permet de caractériser un état de ce géon : localisée en aval du revers du relief structural (seconde toposéquence : ELH Q2 R5), elle affiche la même structure d'ensemble et renvoie à des processus similaires. Elle se distingue uniquement par une végétation buissonnante basse pérenne, liée au fait que l'homme n'intervenait pas où peu en ces lieux.

Les trois relevés inscrits dans cet orthotype affichent une structure similaire, mais il est tout de même important d'apporter une nuance quant au caractère continu des encroûtements qu'ils représentent. En effet, il apparaît très clairement que l'épaisseur de la croûte calcaire diminue : à mesure que l'on progresse sur le glacis, en direction de l'aval, l'encroûtement se fait de plus en plus fin jusqu'à devenir discontinu. Ainsi, si une légère différence peu significative apparaît en terme de développement entre ELH Q1 R7 et ELH Q1 R8, à l'aval de ce dernier et jusqu'à ELH Q1 R9 les encroûtements deviennent très minces. Au delà de ce relevé, ils n'apparaissent d'ailleurs plus de manière continue mais plutôt sous la forme de *plaques* d'épaisseur variable séparées les unes des autres et répartis aléatoirement dans l'ensemble colluvial (toujours au contact tanolite / entaféro-brunichron). Il semble alors que les processus responsables de la mise en place des encroûtements crayeux agissent différemment.

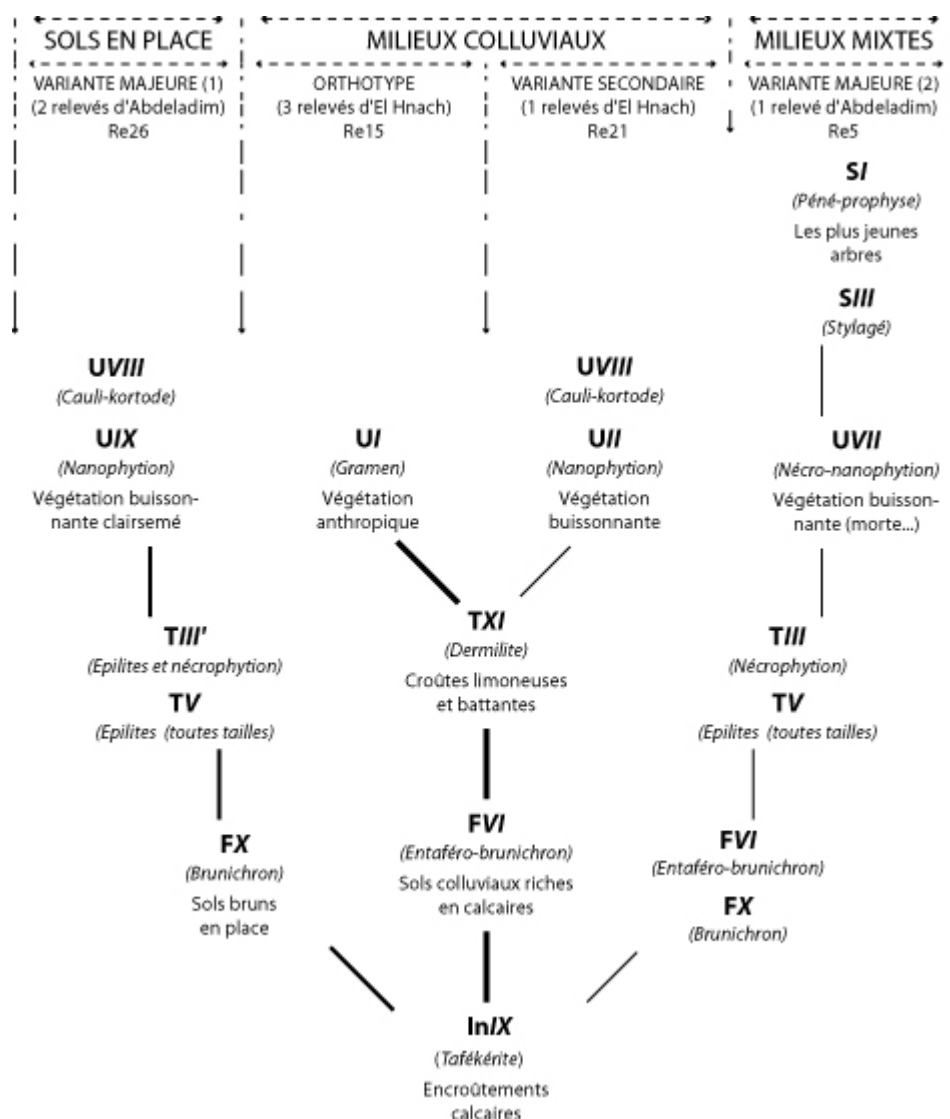


Figure 7.3 : Géons, géotopes et états du milieu naturel sur substrat tafékéritique (les encroûtements calcaires).

Mais la raison pour laquelle ces processus changent reste difficile à identifier. En effet, si le géon dans son ensemble concorde parfaitement avec une rupture topographique, la pente moyenne diminuant sensiblement là où il débute, aucun changement de pente ne semble intervenir pour expliquer le passage d'un encroûtement continu à un encroûtement discontinu. Il apparaît toutefois que les flux d'eau dans les sols subissent une modification importante car elle seule est en mesure de justifier ce phénomène : il est probable que le passage d'un système autorisant les écoulements hypodermiques à un système favorisant le drainage vertical (percolation) soit réalisé. Précisons ce propos.

Tout à l'amont de l'ensemble, au contact du relief structural calcaire, le glacis affiche une forte pente (15 % en moyenne). A cet endroit, les géons se matérialisent par des tassikérites, donc des croûtes très résistantes, parfois altérées. La proximité du relief calcaire et le drainage hypodermique existant du fait de la pente justifient à la fois les apports en carbonates (eau chargée dès le départ et lessivage oblique) et les conditions de circulation de l'eau nécessaires à la mise en place de ce matériau (par multiples phases de dissolution et de cristallisation). Plus en aval, c'est-à-dire dans la partie intermédiaire du glacis (celle qui nous intéresse directement), la pente diminue : elle n'est plus que de 11 % en moyenne. Or, cette rupture de pente concorde parfaitement avec le début du géon considéré ici. La croûte devient alors un encroûtement (tafékérîte). Ceci est vraisemblablement lié au fait qu'un ralentissement du drainage isoclinal et qu'une réduction des apports par éloignement de la source des carbonates surviennent. Le seul lessivage des sols ne permet plus une contribution suffisante pour former une croûte résistante. A mesure que l'on progresse vers l'aval la pente moyenne se maintient à 11 %. Les écoulements hypodermiques ralentissent jusqu'à devenir quasi inexistantes, voire nuls. Le système qui prend le relais devient le drainage vertical, en d'autres termes : la percolation. Or si cette dernière conduit à un lessivage des sols, ce seul apport en carbonate n'est évidemment pas suffisant pour permettre à la structure de se maintenir. Les contributions insuffisantes et les migrations sur de courtes distances conduisent alors à former des accumulations discontinues.

La nuance apportée ici met en avant l'idée que dans le milieu naturel, il existe certainement plus de particularités et d'exceptions que de cas généraux. Malheureusement nous sommes dans l'impossibilité de toutes les conserver : si chaque spécificité du milieu devait être répertoriée en tant qu'orthotype, variante ou intergrade, tout esprit de synthèse serait exclu. Il est cependant important de ne pas les ignorer, d'une part, car elles permettent d'expliquer plus précisément les formes d'organisation du milieu naturel. Et dans ce sens, elles sont un complément indispensable à toute forme de modélisation. D'autre part, elles mettent en évidence des modifications au niveau des processus généraux et s'avèrent être des atouts précieux à la compréhension et à l'explication des paysages et de leurs dynamiques.

Mais revenons aux encroûtements calcaires. En effet, cette longue démonstration avait pour unique but de définir l'orthotype. Or rappelons qu'il existe deux variantes majeures constituant deux géotopes singuliers parmi cet ensemble (figure 7.3). Ces variantes majeures ne concernent d'ailleurs que le paysage d'Abdeladim, plus précisément les piémonts et certains espaces boisés.

Ainsi, la **première variante majeure** décrit un **géotope** développé sur des sols bruns en place (FX). Le métaplexion strict est marqué par un pavage caillouteux (TV) à la surface duquel se dépose des litières hautes (TIII) typiques des milieux proches des forêts mais placés en dehors de la protection des arbres. La végétation kortophytique clairsemée (UIX) offre une protection médiocre de la surface du sol et ses principaux changements sont liés à l'apparition saisonnière des hampes florales des kortodes (UVIII). Les trois relevés caractéristiques de ces

formations prennent place au sein du paysage d'Abdeladim pour lesquels ils permettent de définir les organisations du sommet et du piémont (partie aval dans cet ensemble) de la seconde toposéquence. Ces trois relevés sont rassemblés autour du relevé médian Re26.

La **seconde variante majeure** décrit un **géotope** forestier placé sur la ligne de crête de la première toposéquence d'Abdeladim. Il est rattaché au relevé médian Re5 qui correspond également au seul point de mesure de la géosphère pour ce type de formation. Les sols qui s'y développent sont de nature mixte : des sols bruns en profondeur (FX) et des sols colluviaux plus en surface (FVI) témoignant de transports hydriques en provenance de points plus en amont sur la même ligne de crête. En surface, ces sols affichent un pavage caillouteux (TV) sur lequel se déposent des litières composées d'aiguilles de pins en voie de décomposition (TIII) traduisant d'une position protégée par la présence de composantes du supraplexion. D'ailleurs, des péné-prophyses (SI) et des stylagés (SIII) prennent également place dans ce géotope. Enfin, le métaplexion supérieur correspond à des formes de végétations buissonnantes clairsemées à phases nécrophytiques (UVII) tout à fait typique de ce qu'il advient dès lors que les couvertures forestières sont suffisantes pour bloquer les flux énergétiques, limitant par la même occasion le développement du sous-bois.

Ces variantes font figure d'exception dans le paysage, non pas à cause des formes et des organisations qu'elles affichent, mais plutôt du fait de leur localisation. Leur position sommitale rend en effet difficile l'explication de la présence d'un tafékérîte, sauf pour le relevé de piémont qui lui se place dans un contexte autorisant la présence de ce matériau, du moins si l'on considère l'explication fournie précédemment. Deux hypothèses peuvent cependant être formulées. Celles-ci sont complémentaires mais n'expliquent que partiellement le phénomène. La première est d'ordre topographique et géologique : ces deux relevés correspondent à des sommets plats développés sur des ensembles tanoliques protégés latéralement par des couches de grès. Il est alors possible que de telles structures agissent comme des *cuvettes* et permettent de retenir l'eau le temps nécessaire à la dissolution puis à la précipitation des carbonates contenus à la fois dans les sols et dans le substrat marneux. Les processus seraient alors liés à des *battements de nappes* et ne font pas intervenir de transports latéraux comme dans le cas d'EL Hnach. La seconde hypothèse fait intervenir la végétation. En effet nous sommes ici dans un contexte forestier. Même si les boisements actuels affichent une faible extension latérale, il est très probable qu'ils aient été plus conséquents dans le passé. Notons que le sommet de la seconde toposéquence est dépourvu de forêts. Ceci est dû au fait qu'un *pare feu* passe par là. La saignée réalisée par l'homme entraîne la disparition des arbres. Cela est toutefois très récent (quelques dizaines d'années tout au plus) et donc totalement insignifiant vis-à-vis du temps nécessaire à l'établissement d'un tafékérîte. Ce serait alors les extensions racinaires qui permettraient d'engendrer, par le biais d'alternances humectation - dessiccation, la concentration et la précipitation des carbonates. Ce second point de vue rejoint d'ailleurs la première hypothèse et permet d'accentuer le phénomène de *battement de nappe* probablement responsable de ces structures. Malheureusement rien ne permet à l'heure actuelle de prouver ce raisonnement, et les quelques sources bibliographiques disponibles restent très vagues sur ce sujet. Quoi qu'il en soit, la difficulté à expliquer les phénomènes n'est guère préjudiciable dans l'analyse des flux d'eau dans les paysages. En effet, les espaces couverts par ces phénomènes sont très restreints. Ils interviennent de ce fait de manière limitée dans la contribution aux flux globaux. Les problèmes actuels ne dépendent pratiquement pas de ces systèmes fonctionnant qui plus est en quasi-autonomie.

VII.3.2 - Les croûtes calcaires altérées.

Le **second type de géon** (figure 7.4) occupe une place plus importante dans le milieu naturel puisqu'il renvoie à 22 relevés de la géosphère soit 15 % des observations réalisées. Défini dans l'infraplexion par une large majorité d'alté-tassikérite (croûte calcaire profonde et altérée), ce second type permet de caractériser la majorité des glacis d'érosion d'El Hnach et d'Abdeladim. L'orthotype se place sur la première toposéquence d'El Hnach, dans la partie amont du glacis. Il rassemble trois observations de la géosphère. En outre, cet ensemble se décline en une **variante secondaire** (trois relevés d'Abdeladim) montrant un état différent au niveau du métaplexion supérieur et une **variante majeure**, regroupant 15 relevés de milieu de la seconde toposéquence d'Abdeladim, qui se distingue dès le métaplexion inférieur.

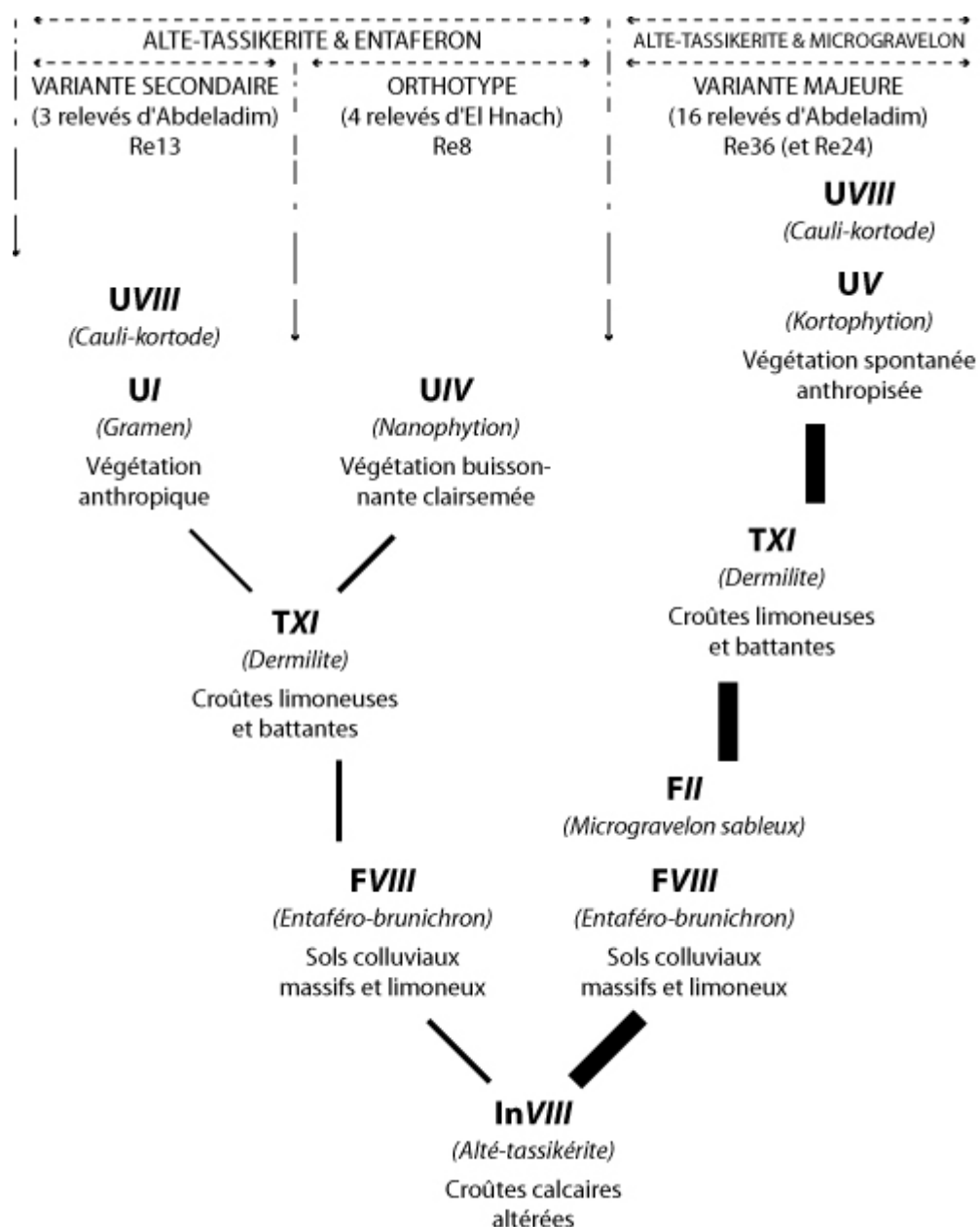


Figure 7.4 : Géons, géotopes et états du milieu naturel sur substrat alté-tassikéritique (les croûtes calcaires altérées).

Ce second géon kéritique développe des successions très proches de celles de l'orthotype défini dans le cadre des milieux établis sur substrat tafékéritique. Ainsi sur l'alté-tassikérite (InVIII) de l'infraplexion apparaît, dans le métaplexion supérieur, de l'entaféro-brunichron (FVIII) identique en tout point de vue à celui du géon précédent. Ceci n'est d'ailleurs pas le fruit du hasard : ce n'est pas (dans ce cas) l'infraplexion qui détermine les milieux, mais le contexte dans lequel ils s'établissent. En effet, les croûtes et encroûtements calcaires considérés ici s'inscrivent dans des ensembles colluviaux qui existaient très probablement avant que les kérites ne se développent. Il n'est donc pas vraiment étonnant de retrouver les mêmes structures pédiques malgré des différences significatives apparaissant plus en profondeur.

Notons à ce sujet que pour les pédologues, ces croûtes calcaires ne correspondent pas à des formations géologiques superficielles, mais à des sols contenant de *fortes concentrations de calcaires*. De ce fait, ils les décrivent comme *n'importe quel horizon plus classique*. Cette remarque met en avant le fait que les processus qui interviennent dans la différenciation des deux structures kéritiques sont plus liés à des types de circulation de l'eau distinct (impulsé par la topographie, les couvertures végétales) qu'à la nature géologique du substrat.

De ce fait les glacis, qu'il s'agisse de celui d'El Hnach ou de celui d'Abdeladim, affichent les mêmes compositions globales : ils sont définis géologiquement par un tanolite marneux et pédologiquement par des sols colluviaux lessivés. Les seuls éléments véritablement discriminants et qui mènent à ce type de distinctions sur la nature des croûtes calcaires sont la pente et l'épaisseur des couvertures pédiques car elles interviennent directement sur le cheminement des flux d'eau responsables de la dissolution - concentration - précipitation des carbonates. De ce point de vue, les agencements et les successions identifiés sont une aide précieuse pour caractériser l'hydrodynamique de ce type de milieu. Bien qu'étant des formes actuellement héritées, il n'existe apparemment pas de raisons qui justifieraient un changement radical des cheminements de l'eau par rapport à ceux existants à l'époque de leur mise en place (si ce n'est que le climat était plus humide et plus contrasté).

En tout état de cause ce géon présente une succession InVIII - FVIII qui détermine sa structure générale. La **variante majeure**, qui conduit à différencier les deux paysages, fait intervenir des couches sableuses (FII) d'épaisseur et d'extension variables (mais souvent des lentilles de petite taille) et situés à des profondeurs différentes (sans qu'un arrangement particulier ne survienne de l'amont vers l'aval). Si cet élément est important à signaler puisque généralisé sur la seconde toposéquence d'Abdeladim il ne renvoie pas à une distinction véritablement déterminante du point de vue de la dynamique de ces milieux. En effet, la raison de leur présence est uniquement liée à un contraste géologique entre les deux paysages : Abdeladim se développe sur des régolites gréseux tandis qu'El Hnach appartient au domaine calcaire. Les dynamiques colluviales sont donc dans un cas strictement les mêmes : les colluvions contiennent une part de sables qui n'existe pas dans l'autre.

La présence de sables n'est toutefois pas non plus généralisée à l'ensemble du glacis d'Abdeladim. En effet, les trois relevés de ABD Q1 n'en contiennent pas (figure 7.4). Ils s'inscrivent à ce titre dans les mêmes successions verticales que celles présentes sur le bassin versant d'El Hnach. Les seules différences notoires apparaissent alors au niveau de la végétation : une steppe à armoise pérenne sur El Hnach (l'orthotype) et une culture céréalière anthropique (UI) sur Abdeladim (la variante secondaire). Cette végétation permet ainsi de différencier *statistiquement* la **variante secondaire** signalée en début de paragraphe. Enfin, dans le cas de la **variante majeure**, la végétation rencontrée est une jachère (UI) marquée par des formes de croissance saisonnière des végétaux herbacés (UVIII). Ainsi les milieux représentés au travers de deux variantes peuvent être rapprochés malgré les quelques différences qu'ils affichent : ils sont tout deux liés à l'action anthropique.

Pour achever cette description, précisons qu'au niveau du métaplexion strict toutes les différences constatées s'estompent. Les *trois organisations* développent, du fait du caractère limoneux des sols, des croûtes de battances (TXI) dont l'impact sur le ruissellement couplé à la superficie couverte par ces types de milieux mettent en évidence de vastes secteurs fortement contributifs au ruissellement global de ces paysages.

Les critères de différenciation sont donc très minimes lorsque le milieu se développe sur des ensembles alté-tassikéritiques. Ces différences ne résultent d'ailleurs pas des processus responsables de l'édification des structures, mais de nuances apportées par la nature géologique des ensembles dans lesquels elles prennent place. Il est ainsi possible de rapprocher deux paysages (éloignés pourtant d'environ 150 kilomètres), tant du point de vue des explications relatives à la mise en place de certaines de leurs parties qu'au niveau des cheminements des flux actuels. A ce sujet, il est important de rappeler que la présence de ces croûtes altérées est toujours liée à un développement important des sols. Les chemins de l'eau que ces derniers imposent, et notamment le fait qu'ils limitent l'évaporation de l'eau infiltrée en profondeur, sont en effet responsables de l'altération, par dissolution, des tassikérites originels sans qu'il existe de phase de recristallisation sur place pouvant permettre le maintien du matériau. Cette altération leur fait alors perdre leur caractère imperméable si bien que l'eau s'infiltre encore plus en profondeur dans le substrat tanolique provoquant épisodiquement des re-précipitations sous la forme de tafékérite dans le substrat sous-jacent.

VII.3.3 - Les milieux kéritiques plus complexes.

Enfin, en position **intergrade** entre ces deux premiers ensembles figurent quelques groupes de relevés dont la nature est mixte : ils affichent à la fois des croûtes altérées, des encroûtements dans leurs développements et parfois même des croûtes résistantes. Cet intergrade, malgré son importance en terme de représentativité spatiale (13 relevés de milieu répartis dans trois groupes) n'apparaît pas directement lors de la typologie. Il est au départ rattaché au premier type de géon et nécessite une différenciation manuelle pour être formulé. L'exemple le plus représentatif se localise sur le piémont d'Abdeladim, mais une variante sur El Hnach mérite d'être signalée (figure 7.5).

Le **géon** qui se distingue ici regroupe 4 relevés de milieu au travers du relevé médian Re38. Il se distingue dans l'infraplexion par la succession verticale de trois composantes kéritiques: le tassikérite (InVII), l'alté-tassikérite (InVIII) et le tafékérite (InIX). Le développement cumulé de ces trois types d'hoplexol atteint pratiquement un mètre d'épaisseur. Ces ensembles kéritiques précèdent des sols bruns en place (FX) marqués en surface par un pavage caillouteux (TV). Sur cette base commune prennent place deux états distincts, principalement liés à des différences de localisations, qui n'interfèrent pas entre eux. Ces deux états peuvent d'ailleurs être assimilés à des **géotopes** même si les variations constatées ne surviennent pas dans le métaplexion inférieur.

L'orthotype, caractéristique de la majorité des relevés de piémont (les plus en amont dans ces ensembles) encore placés sous l'influence des couvertures forestières (ABD Q2 R6, ABD Q2 R8 et ABD Q2 R9), se distingue de sa variante dès le métaplexion strict avec une dense concentration d'épilites (TIII') positionnés dans le milieu en h+1. Dans le métaplexion supérieur il affiche une végétation buissonnante basse, peu couvrante et marquée par d'importantes phases nécrophytiques. Le type d'hoplexol qui s'y rattache (UIII) est identique à celui présent au cœur des forêts. Cette végétation est en outre marquée par la croissance saisonnière des végétaux herbacés (UVIII). En revanche **la variante secondaire** (4 relevés rattachés à Re4) rassemble la majorité des relevés secondaires (*mesurés* en périphérie des arbres) situés sur le jebel de la première toposéquence d'Abdeladim. Elle se distingue de son

orthotype par une végétation buissonnante plus vigoureuse (*UVII*) marquée par des formes néo-nanophytiques.

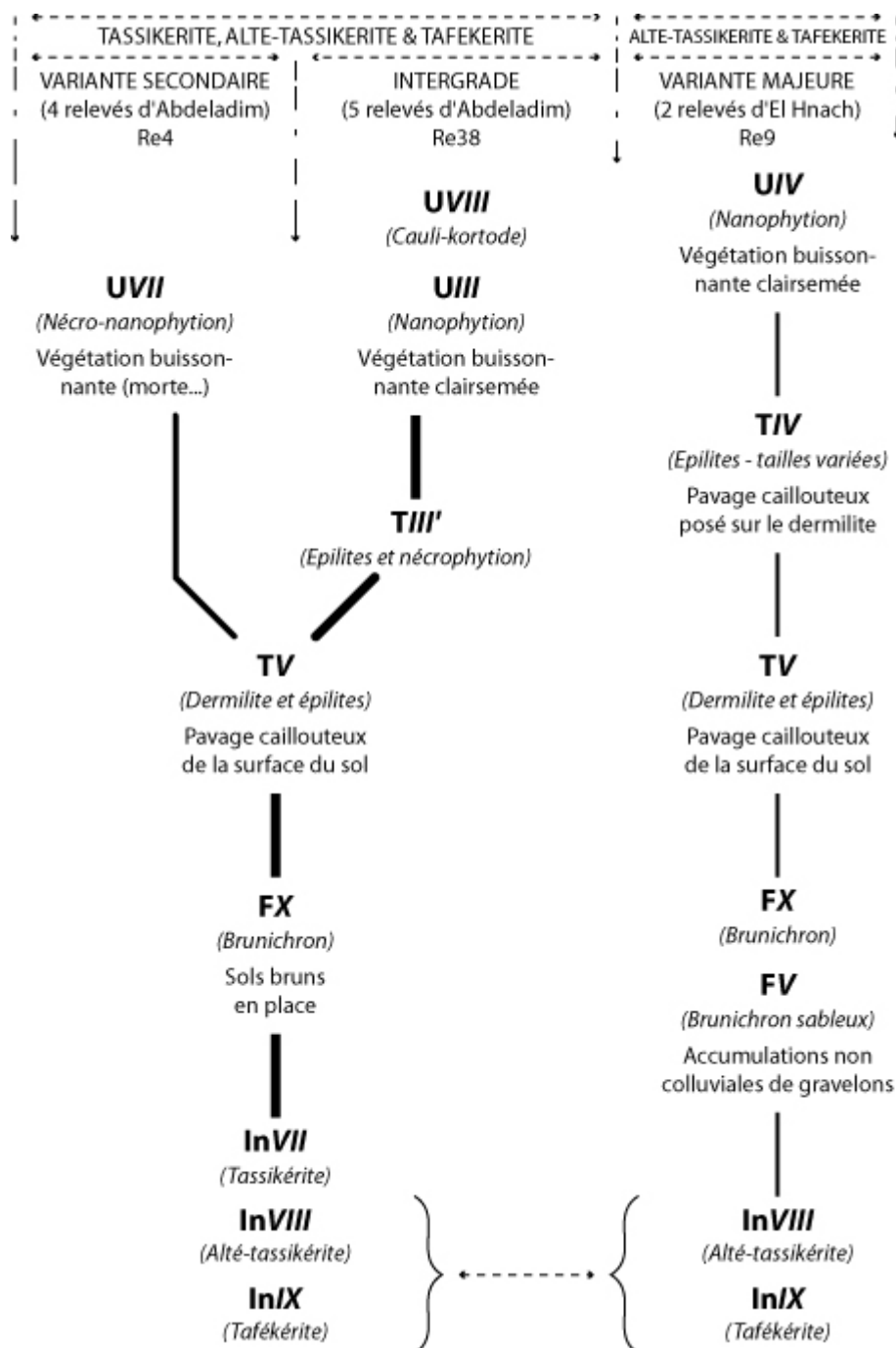


Figure 7.5 : Les géons en intergrade (et leurs variantes) dans les milieux kéritiques. (Tassikérîte, alté-tassikérîte et tafékérîte se succédant verticalement)

Ce géon et les *géotopes* qui s'y inscrivent apportent de nouvelles nuances au sein du paysage d'Abdeladim : ils complètent les observations forestières, en permettant la caractérisation des auréoles dont référence est faite au chapitre précédent et distinguent des variations au niveau des piémonts. Finalement, une double analyse peut-être effectuée.

En ce qui concerne les piémonts tout d'abord, il est important de noter que le milieu change considérablement de l'amont vers l'aval. En effet, dans leurs parties amont ils affichent des structures proches de ce qu'il est possible d'observer dans les boisements, traduisant ainsi d'une part de leur influence au-delà de leurs limites sur le métaplexion (strict et supérieur) et d'autre part laissant supposer une ancienne extension plus conséquente, responsable pour partie des structures relevées dans le métaplexion inférieur et dans l'infraplexion. Dans leurs parties aval, les piémonts affichent en revanche des agencements verticaux plus proches de ceux du glaci (du fait de leur simplicité apparente) : ils se matérialisent au niveau des formations géologiques superficielles mais s'en distinguent dès le métaplexion inférieur et jusqu'au métaplexion supérieur. Ils renvoient d'ailleurs à des dynamiques distinctes, liées notamment un impact différent des activités humaines et des pentes plus marquées.

Pour aller plus loin...

Tous les relevés de milieux inscrits dans cette variante secondaire ne présentent pas forcément les mêmes successions verticales. De très nombreuses variantes apparaissent dans l'infraplexion et dans le métaplexion inférieur, sans qu'il soit possible d'en trouver la logique spatiale. Les structures verticales ainsi mises en évidence semblent quelque peu désordonnées, du moins lorsque sont uniquement considérés les sols et les formations géologiques superficielles. Ceci tient au fait que ces espaces s'inscrivent dans une dynamique actuelle très particulière, liée à la répartition des arbres ainsi qu'à la densité et à la continuité des frondaisons. Replacée dans un cadre temporel plus large, les variations latérales constatées à l'heure actuelle sont probablement responsables de la complexité de ces milieux en intergrade. Ils s'opposent ainsi à l'ensemble des autres milieux kéritiques, notamment ceux des glacis, plus simples verticalement et plus stables spatialement. Mais outre la grande complexité du milieu en ces points, les problèmes rencontrés au cours de la classification résulte d'une erreur de notre part, effectuée dès terrain : la totalité de relevés secondaires ne s'intéressent qu'à ce qui existe au dessus de la surface du sol. A la vue des faibles distances séparant relevés et relevés secondaires, il ne fut pas jugé utile d'ouvrir des fosses pédologiques pour chercher à comprendre ce qui survenait au dessous de celle-ci. Si cela ne semblait pas avoir d'importance au départ, il est possible, dans une certaine mesure, que des différences notoires existent entre eux à ce niveau. De ce fait si l'on considère uniquement l'infraplexion et le métaplexion inférieur, les choix typologiques opérés reflètent mal la réalité et sont très insatisfaisants pour caractériser ces géons. Malheureusement, nous sommes dans l'impossibilité de réparer cette erreur et nous devons nous contenter des informations disponibles pour tenter d'approcher au mieux la réalité dans les modèles verticaux puis spatiaux. En tout état de cause, les auréoles concentriques formées dans le métaplexion strict et supérieur méritent d'apparaître dans les modèles d'organisation, même si cela implique des divergences dans les structures pédiques et les formations géologiques superficielles. Aussi, malgré la rigueur et le soin apporté au cours de la démarche, de nombreux éléments se classent dans cet ensemble sans pour autant y être vraiment à leur place, en regard de ce qui se passe sous la surface du sol. Cela n'est pas forcément préjudiciable puisque les organisations qui ressortent sont clairement visibles sur le terrain et doivent apparaître dans le modèle final même si elles conduisent à des simplifications abusives dans le métaplexion inférieur et l'infraplexion.

Au niveau des couvertures forestières les structures verticales mises en avant ici permettent de compléter et de nuancer ensuite la définition des géons forestiers. L'infraplexion n'intervient cependant pas vraiment dans ces distinctions (voir encadré) : la répartition des croûtes et les nombreuses variations latérales conduisent à des distinctions difficilement modélisables. Trop d'intergrades et de variantes sont à considérer et leur agencement spatial semble plus lié aux changements qu'ont connu les forêts au cours du temps qu'à une quelconque règle régissant les processus relatifs à la mise en place des croûtes calcaires. Quoi qu'il en soit, la distinction réalisée est tout de même intéressante car elle confirme l'idée formulée au chapitre précédent : des auréoles concentriques se forment autour des arbres et permettent ainsi de *visualiser* leurs impacts sur les flux d'eau et d'énergie. Notons également que ce modèle d'organisation n'apparaît que sur l'amont des boisements de Q1 ; là où existe un petit jebel. Plus en aval, les couvertures forestières plus continues ne permettent pas ce genre de distinctions. Il est encore cependant trop tôt pour approfondir ce propos car de nombreux relevés forestiers se

développent sur des tanolites marneux : ils sont pris en compte dans la suite de ce chapitre (VIII.3.1.3). Les différents modèles présentés ici, dans le cadre des milieux forestiers, sont en outre rassemblés et détaillés plus tard dans l'analyse, lors de la mise en œuvre cartographique des segments de paysages.

Enfin, une **variante majeure** de ce *géon intergrade* doit être signalée. Localisée au sein du paysage d'EL Hnach, elle ne regroupe que deux relevés de milieu autour du relevé médian Re9. La première distinction réalisée réside dans le fait que contrairement à l'intergrade, cette variante n'englobe que deux types d'hoplexols au niveau de l'infraplexion (InVIII et InIX). Elle peut de ce fait être définie comme un géon à part entière... Mais c'est surtout les différences qui apparaissent dans le métaplexion strict qui méritent d'être signalées (figure 7.3). En effet, les sols bruns de type FX sont couplés avec des hoplexols gravéliques (type FV) constitués de graviers (taille centimétrique) et de galets arrondis (taille décimétrique), partiellement englobés dans une gangue kéritique. Ces gravelons sont en outre la cause d'un pavage caillouteux en surface et au dessus de la surface du sol (respectivement TV et TIV). Plus classique dans le métaplexion supérieur, cette variante majeure se définit par une végétation buissonnante clairsemée couplée à des herbacées rases (UIV).

Les deux relevés concernés s'inscrivent au sommet de la troisième toposéquence d'El Hnach, au sein de facettes topographiques de type 1. Mais du fait de sa composition leur position dans le paysage est assez surprenante. En effet les galets inclus dans un mélange brunichrome et kéritique laissent supposer à un point bas dans le paysage correspondant probablement à un ancien lit d'oued. Les lits de graviers et de galets arrondis seraient alors des dépôts fluviaux grossiers. Mais pourquoi cette position dominante dans le paysage ? Il semble en effet difficile, en l'état actuel des choses, qu'une rivière puisse passer par là pour mettre en place de tels dépôts. Cependant comme cela fût signalé au chapitre IV, les collines au sein desquelles ce type de relevé est constaté correspondent au *flanc* d'un ancien anticlinal plus massif.

Les dépôts relevés sont alors probablement liés au passage d'un cours d'eau à l'époque où la combe, représentant la partie centrale du paysage, n'existait pas encore. Notons d'ailleurs qu'un des oueds (écoulement nord/sud) se place parfaitement dans l'alignement de cette colline (cartes en annexe 3) ce qui peut justifier un ancien écoulement en ce lieu avant qu'il s'encaisse dans les marnes sous-jacentes. Une fois les marnes atteintes l'érosion différentielle a permis le dégagement des structures actuelles : une petite combe cernée par des crêts (au nord, à l'est et dans une moindre mesure au sud) ainsi qu'un changement radical des écoulements puisque désormais l'oued nord/sud est capté par un cours d'eau orienté est/ouest *parallèle* aux collines considérées ici. Le crêt sud n'existe plus en tant que tel. Là encore l'érosion différentielle a dégagé la structure en creusant dans les marnes. Son dégagement n'est cependant pas complet : deux buttes subsistent telles des témoins de son existence passée. Il est alors possible que leur maintien soit lié, au moins pour partie, à la consolidation des alluvions grossières en une sorte de brèche à ciment kéritique. C'est cette formation superficielle qui ressort au travers de cet intergrade.

En tout état de causes, la structure en place actuellement semble assez stable. Elle ne subit que faiblement les actions de l'érosion du fait de la très faible inclinaison de ses pentes et semble fonctionner en autonomie. La présence de croûtes altérées laisse en outre supposer une infiltration importante, nécessaire pour dissoudre les calcaires précipités et éventuellement enrichir en carbonates les hoplexols plus profonds.

L'analyse des milieux kéritiques repose sur 42 relevés de milieux. Elle met en avant 4 géons (dont deux en intergrade) qu'il est possible de décliner en 7 géotopes. De nombreuses nuances intéressantes concernant les agencements verticaux de la géosphère conduisent à caractériser précisément et fidèlement les organisations du milieu naturel, les processus responsables de

leur formation et les dynamiques hydriques (et érosives). Des plus simples au plus complexes les milieux kéritiques sont ainsi précisément décrits et analysés. Ils peuvent de ce fait prendre place dans les segments de paysages et renseignent ainsi de manière fort intéressante sur les cheminements de l'eau et les processus érosifs qui entrent dans leur définition.

L'entité la plus remarquable est la première toposéquence d'El Hnach. Les successions verticales puis latérales qu'elle montre déterminent à elles seules un *modèle de base* permettant de comprendre et d'expliquer, d'une part, les processus responsables de la mise en place des kéritites et, d'autre part, les cheminements de l'eau dans ces ensembles. Toutes les autres formes rencontrées peuvent y faire référence d'une manière ou d'une autre, tout en apportant maintes précisions liées à la topographie, à l'occupation du sol ou encore à la végétation. Il est ainsi possible d'obtenir des éléments de comparaisons montrant la *proximité* ou l'*éloignement* des deux paysages concernés. Afin d'achever cette étape de l'analyse, prenons en considération les milieux développés sur tanolite marneux.

VII.4 - ORTHOTYPES, VARIANTES ET INTERGRADES DANS LES MILIEUX TANOLIQUES.

Les milieux tanoliques rassemblent le plus grand nombre points de mesure de la géosphère. Ils regroupent 88 relevés de milieu, soit environ 61 % de l'ensemble de départ. Ces relevés sont rassemblés autour de 21 relevés médians qu'il faut maintenant trier pour mettre en évidence les principales structures rencontrées sur ce type de substrat.

Or l'opération, *très facile* à réaliser pour les deux ensembles précédents, est loin d'être une évidence dans les milieux tanoliques. Les types d'hoplexols de l'infraplexion et du métaplexion inférieur se mélangent de manière très aléatoire si bien que la définition de groupes clairs et distincts les uns des autres pose de nombreux problèmes. Du moins lorsque l'on recherche un niveau de synthèse suffisant pour prétendre à l'établissement de modèles globaux d'organisation du paysage.

Une raison apparaît pour expliquer les difficultés rencontrées : il existe à la base, donc dans l'infraplexion, de multiples possibilités d'arrangement en fonction des niveaux d'altération des marnes. Chaque type d'interaction définit un nouvel intergrade si bien qu'en fin de compte il existe plus de *formations intermédiaires* que d'*agencements purs* dans ce type de milieux. Ajoutons à cela que quatre principaux types de sols prennent place sur ce substrat. Leur nature semble, *a priori*, indépendante des différents niveaux d'altérations des marnes et des interactions qui existent entre eux : elle est plus liée aux conditions topographiques (sols en place et sols colluviaux), aux conditions climatiques ou encore à la nature du drainage (sols vertiques, sols bruns...). Ainsi les combinaisons entre les composantes de l'infraplexion couplées à celles du métaplexion inférieur conduisent rapidement à la mise en évidence d'un nombre trop important d'organisations. Il est de ce fait impossible de suivre la logique employée jusqu'à présent pour mettre en place les modèles d'organisations verticales attendus. Les géons ne sont donc pas établis sur les types d'hoplexols de l'infraplexion, mais à partir de ceux du métaplexion inférieur. Procédant de cette manière le résultat final ne change guère, puisque tous les arrangements sont d'une manière ou d'une autre pris en compte, mais la lisibilité des résultats est accrue, leur pertinence améliorée. C'est donc à partir de traitements numériques (désormais classiques) portant sur les sept types d'hoplexols du métaplexion inférieur que les géons, géotopes et états du milieu sont établis pour les milieux tanoliques.

Au final, ce sont quatre modèles principaux d'organisations qui se distinguent en fonction de la nature des sols : les sols vertiques en place, les sols vertiques colluviaux (deux modèles distincts caractérisant uniquement le paysage de Kamech), les sols bruns en place et leurs multiples variantes (forestières notamment). En outre, deux modèles moins représentés spatialement sont également formulés.

VII.4.1 - Les milieux vertiques colluviaux et non colluviaux.

Les milieux développant des sols vertiques ne se retrouvent que dans le paysage de Kamech. Ces sols sont hérités d'une époque plus humide mais marquée par de forts contrastes saisonniers. Les alternances humectation - dessiccation couplées à un mauvais drainage ont permis la différenciation des argiles gonflantes qui confèrent le caractère particulier des sols actuels : très massifs en saison humide et très fissurés en saison sèche. Ces propriétés sont d'ailleurs la cause des décalages constatés entre le début de la saison pluvieuse et le début du remplissage de la retenue collinaire. Il convient de distinguer deux types d'arrangements en fonction de la position dans le paysage : les structures en place (figure 7.6), préférentiellement réparties à l'amont des versants et les structures colluviales (8.19), dans leurs parties avals.

Avant d'entrer dans le détail, il est important de rappeler que les formations géologiques superficielles n'interviennent que très rarement dans la différenciation des géons et des géotopes de ce milieu : quelque soit l'espace considéré, les marnes sont toujours présentes mais apparaissent sous des formes différentes et à des profondeurs variables. Les distinctions opérées dans l'infraplexion renvoient d'ailleurs uniquement aux divers degrés d'altérations que subit ce type de roches. A ce titre la succession complète, celle qui pourrait prendre la fonction d'orthotype si elle avait été repérée *partout*, correspond au passage progressif d'un tanolite peu altéré (InVI) à un isaltérite (InV) en passant par un allotérite (InIII). Cette succession n'est d'ailleurs pas spécifique à Kamech, elle s'applique à l'ensemble des trois bassins versants étudiés. Mais du fait des développements très variables et de l'absence fréquente d'une de ces composantes dans les relevés considérés, nous sommes dans l'impossibilité de proposer une règle générale pour expliquer leurs répartitions spatiales : que l'on se place à l'amont ou à l'aval des versants, les composantes tanoliques apparaissent et disparaissent aléatoirement d'un lieu à l'autre, parfois très *rapidement*. Ainsi des relevés très proches spatialement peuvent présenter un même agencement ou au contraire un agencement très différent dans l'infraplexion sans qu'il soit possible de le prévoir à l'avance. Inversement, deux relevés éloignés spatialement et au niveau organisationnel peuvent être très proches du point de vue des successions qu'ils affichent dans l'infraplexion. Les seules distinctions constatées interviennent lorsque la topographie est plus contrastée, entre un talus en forte pente et un versant peu incliné par exemple. Mais ces cas sont marginaux et au final, les dissemblances mises en évidence renvoient plus à des nuances en terme de développement des hoplexols qu'à de véritables changements de forme ou d'organisation du milieu naturel. D'ailleurs les types de sols qui prennent place sur ces formations géologiques superficielles ne changent jamais quelque soit le niveau d'altération du substrat tanolique : pour un sol donné, il est possible de trouver plusieurs agencements différents dans l'infraplexion et inversement des sols de nature différente peuvent afficher les mêmes formes d'altération des tanolites.

Aussi, compte tenu de l'aléa dans les agencements de l'infraplexion nous tenterons, dans les analyses qui suivent, d'expliquer les agencements survenant à partir du métaplexion. L'infraplexion est dès lors considéré comme *homogène*, sauf cas exceptionnel dûment signalé dans le texte, et la succession typique considérée affiche l'agencement (du plus profond au plus superficiel) InVI, InIII, InV signalé plus haut dans ce paragraphe. Les principales variations étant liées à la profondeur du milieu, les artéfacts introduits par ce biais ne sont pas véritablement significatifs en terme d'organisation du milieu naturel. Ces précisions apportées, il est maintenant possible de passer à l'analyse des successions verticales en milieux tanoliques développant des sols vertiques (vertichron et entaféro-vertichron).

Considérons donc en premier lieu les milieux tanoliques caractérisés par des sols vertiques (figure 7.6). Le géon orthotype qui caractérise la majorité des relevés de milieux de ce type

correspond à une succession verticale *FIII* (sols vertiques en place), *TXI* (croûtes de battances). Cet orthotype correspond à l'amont des versants du paysage de Kamech. Il rassemble 10 relevés de milieux autour des relevés médians Re33, Re34 et Re18. Les versants, ou parties de versants, ainsi représentées subissent une importante pression anthropique et de ce fait s'affichent dans deux états distincts : les parcelles laissées en jachères (orthotype sur la figure) et les parcelles cultivées (variante secondaire sur la figure).

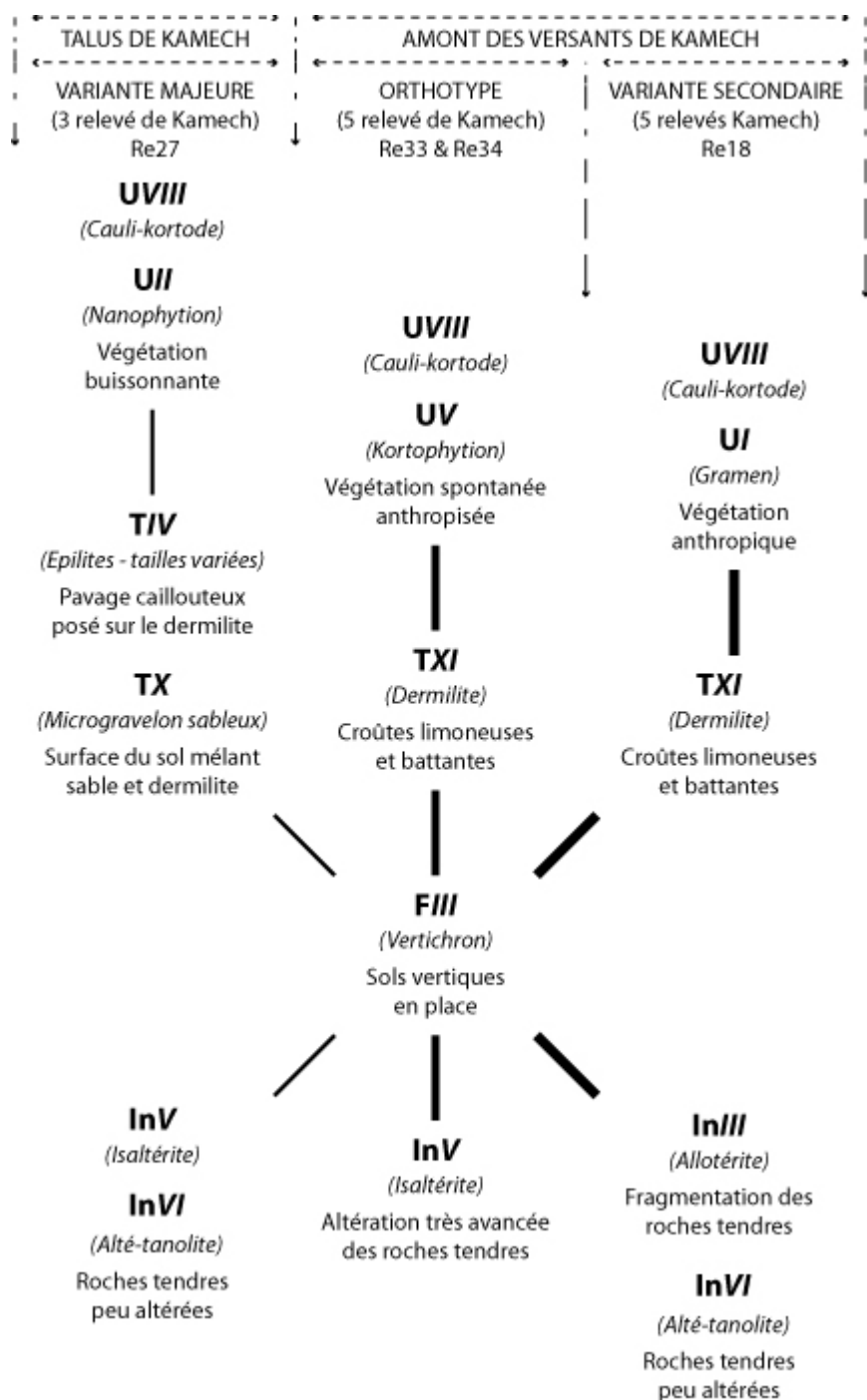


Figure 7.6 : Géons, géotopes et états du milieu naturel sur substrat tanolique.
Les sols vertiques en place.

Ce géon est en outre à rapprocher de l'orthotype présenté en figure 7.7. Ces deux modèles d'organisation sont en effet rigoureusement identiques à un élément près : dans l'orthotype de

la figure 7.7 les sols sont de nature colluviale. A ce titre, ils permettent de caractériser les parties avals des mêmes versants.

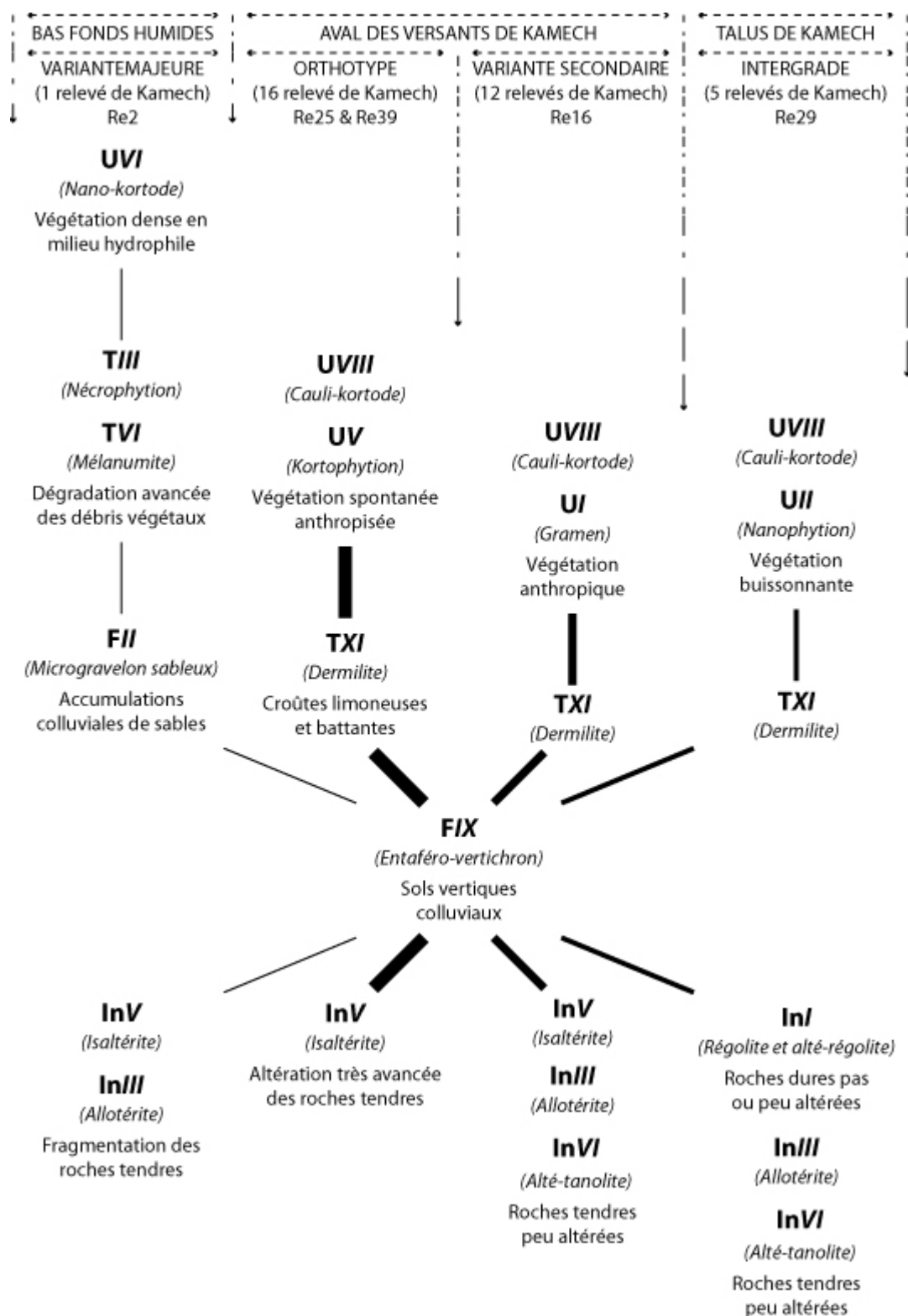


Figure 7.7 : Géons, géotopes et états du milieu naturel sur substrat tanolique.
Les sols vertiques colluviaux.

Hormis cette différence, l'ensemble des profils est comparable. Tant au niveau des arrangements mis en évidence (orthotypes et variantes) qu'en ce qui concerne le développement des types d'hoplexols (bien que légèrement plus développés dans le cas de l'entaféro-vertichron). Ces deux ensembles représentent un total de 38 relevés de milieux (tous issus de Kamech) soit près de 26 % de l'ensemble des observations réalisées sur les trois paysages.

Une nuance doit cependant être apportée. Elle concerne les 5 relevés rassemblés autour du relevé médian Re18 (variante secondaire de la figure 7.6). En effet ces relevés bien que très proches de leur orthotype du point de vue des organisations qui les caractérisent, ils apparaissent comme des éléments quelque peu discordant. Leur localisation sur des lignes de crêtes de forme convexes entraîne une érosion hydrique des sols plus conséquente. Celle-ci se marque au niveau des profils par un développement plus faible du métaplexion inférieur (les sols sont moins épais) et par la présence de tanolite à proximité de l'épipause. Latéralement, le tanolite affleure parfois dans des rigoles peu profondes mais fortement anastomosées qui pourraient, à terme, conduire à la formation d'un bad-lands. Les quelques points d'observation où cette variante secondaire est constatée sont en outre plus secs et maquent cette différence par l'absence d'isaltérite dans l'infraplexion. L'eau n'est pas retenue suffisamment longtemps pour permettre la transformation chimique des marnes. Seule des formes de fragmentation mécanique (allotérite) occupent ces espaces.

Du point de vue des dynamiques hydriques et érosives, mis à part le cas cité précédemment, les deux orthotypes (figure 7.6 et 8.19) ainsi que les variantes secondaires qui leurs sont associées présentent quelques éléments intéressants pour l'analyse des organisations paysagères et des cheminements de l'eau dans le milieu. En effet selon la position qu'ils occupent sur les versants, ils renvoient tous deux à des processus de mise en place différents. Cela n'est pas véritablement un nouvelle exclusive puisque dès les travaux de terrain cet élément ressort comme une caractéristique fondamentale de ce paysage. Mais, mis à part ce fait, il est évident que les processus de transformation de la matière sont à l'œuvre dans ces deux ensembles, quelque soit leur nature. Ainsi, les deux *géons* affichent (entre autres) des isaltérites dans l'infraplexion. Ce matériau est le témoin de phénomènes qui entraînent, sous le passage de l'eau, une modification mécanique et surtout chimique des marnes. La pédogenèse est à l'œuvre à l'heure actuelle et de nouveaux sols se forment en profondeur, de manière indépendante de la nature des couvertures pédologiques. Notons d'ailleurs que si les signes indiquant des mouvements colluviaux existent, les propriétés des sols restent les mêmes. Les fentes de retrait qui les caractérisent en saison sèche correspondent à des drains importants qui permettent la pénétration rapide de l'eau en profondeur et la rend pleinement disponible pour les processus chimiques de transformation.

Une différence très importante existe toutefois entre ces deux entités : les relevés réalisés dans les parties en aval des versants sont généralement plus humides que leurs homologues inscrits plus en amont (si l'on considère qu'un versant correspond à des facettes topographiques inscrites entre deux affleurements de grès). Il semble donc que l'eau infiltrée sur les versants ait tendance à migrer vers l'aval des versants où elle se trouve bloquée dès lors qu'un affleurement de grès existe. A titre d'exemple, et bien que cela soit quelque peu anecdotique, plusieurs fosses pédologiques réalisées en aval des versants de la rive gauche (sur la cinquième toposéquence de Kamech notamment) étaient rapidement remplies par une vingtaine ou une trentaine de centimètres d'eau si bien qu'il était impératif de les drainer avant de pouvoir les traiter. En outre, la présence de puits sur ces sections de versants confirme dans une certaine mesure ce propos. En tout état de cause, les différences affichées du point de vue de l'eau contenue dans ces deux *géons* ne sont pas liées à des différences de comportement des sols : la plupart des relevés concernés ici affichent des traces d'hydromorphie, mais certains plus que d'autres. Leurs propriétés physico-chimiques communes font qu'ils sont tous

aptes à absorber et retenir de l'eau en leur sein. Les distinctions réalisées sont ainsi liées à la conjoncture topographique et géologique d'une part et à la longueur des versants d'autre part. Ainsi les points *les plus humides* correspondent également aux endroits situés à proximité amont d'un affleurement gréseux dans un contexte topographique marqué par des versants longs et moyennement inclinés.

Contrastant assez nettement avec les ensembles majoritaires, deux variantes majeures et un intergrade peuvent également être formulés. Occupant des portions d'espace très restreintes et très localisées spatialement, ces cas particuliers apportent des précisions sur l'organisation générale du paysage de Kamech. La première variante que l'on est amené à considérer apparaît sur la figure 7.7. D'une certaine manière elle s'inscrit dans le prolongement de certains versants de ce paysage : cette variante fait ressortir un unique relevé, dont les types d'hoplexols furent identifiés dès le chapitre précédent. Il s'agit des bas-fonds humides de Kamech. Un unique relevé permet de caractériser ce type de formation : KAM Q2 R6. Défini dans le métaplexion supérieur et dans le métaplexion strict par une végétation hydrophile (UVI) et par des accumulations de végétaux morts (TIII) le rendant très singulier dans ce paysage, ce sont surtout les traces de mélanisation présentes dans les sols qui traduisent le mieux son caractère. Fortement accumulatif, les sols vertiques colluviaux (FXI) se développent sur des épaisseurs plus importantes et sont marquées par la présence de bancs de sables (FII) pouvant atteindre des épaisseurs importantes. Enfin, dans l'infraplexion, les formes rencontrées s'approchent de celles existant dans le reste du milieu. Toutefois, elles apparaissent sur des épaisseurs plus importantes (*à priori*) et la présence quasi-pérenne de l'eau tend à transformer les isaltérites (InV) en gleys.

Là encore, c'est la présence d'un affleurement gréseux qui est responsable de ce type de formation. Directement positionné en aval de la structure décrite ici, cet affleurement joue le rôle d'une barrière imperméable aux flux d'eau et rend possible les accumulations sableuses. Mais cette structure est également liée à une particularité du relief en amont : elle se place dans un ensemble de collines vallonnées situées en rive gauche du paysage de Kamech. Limitées par des talus (à l'amont et à l'aval), ces collines sont parcourues en fond de vallon par des cours d'eau anaclinaux qui franchissent le talus aval par l'intermédiaire d'une cluse avant de rejoindre le sillon appalachien. Chaque impluvium est ainsi parfaitement délimité latéralement si bien que tous les flux (eau et matière) se concentrent nécessairement dans la dépression anaclinale. Les pentes plus faibles en ces lieux (comparativement à celles du reste de l'ensemble) et en parties stabilisées par l'affleurement de grès en aval sont alors propices au maintien massif de sédiments. En outre du fait du ralentissement des écoulements de surface et de l'abondante végétation, l'eau s'infiltre en profondeur.

Malgré une large sous représentation dans nos relevés, l'agencement décrit se répète pratiquement à l'identique d'un impluvium à l'autre. Les principales variations sont d'ailleurs plus liées à des encaissements d'amplitude variable qu'à de réels changements dans l'organisation verticale du milieu. Les espaces concernés sont en outre facilement reconnaissables de par leur position et les formes de végétation qui y prennent place. Enfin il est bon de préciser que malgré une extension spatiale limitée, l'impact sur les flux d'eau est sérieux : le pouvoir absorbant de ces structures, tant qu'elles ne sont pas saturées (et selon l'intensité de la pluie et le débit considéré), retarde les flux d'eau qui se forment en amont et diminue leur contribution au flux global à l'exutoire du bassin versant.

Les deux derniers éléments à prendre en considération avant de passer à la suite de l'analyse des milieux tanoliques concernent à la fois la variante majeure de la figure 7.6 et l'intergrade de la figure 7.7. Les deux ensembles décrits définissent un même type de facettes topographiques, d'une importance majeure dans le paysage de Kamech : il s'agit des facettes

de talus. Si du point de vue organisationnel elles ne diffèrent guère des orthotypes auxquelles elles sont rattachées, leur moindre développement ainsi que les formes de végétation qui s'y développent (VII puis UVIII selon la saison) permet de les distinguer statistiquement. Ainsi, sur les talus de Kamech, plusieurs géons et géotopes se partagent l'espace. Leur détermination est liée, en premier lieu, à des différences significatives dans l'infraplexion. En effet, si le premier (variante majeure de la figure 7.6) affiche une succession sur tanolite (InV sur InVT) et développe des sols vertiques, le second se définit par un intergrade avec des régolites gréseux peu altérés (intergrade de la figure 7.7). A ce titre, il propose une succession InVI / InV / InI. Ceci le rapproche ainsi fortement du géon en intergrade, centré autour du relevé médian Re14 et analysé au paragraphe VII.2.1. Leur structure est globalement identique, même si quelques points de détail, notamment dans la nature des sols, les distinguent.

Nous disposons pour l'instant de deux ensembles supplémentaires pour caractériser ce type d'organisation :

- Les formes déterminées par le relevé médian Re29, qui correspondent à un intergrade entre des tanolites altérés et des régolites. Ces organisations qui s'y rattachent se situent sur les sections les plus en amont. Elles affichent des sols colluviaux mais les migrations de sédiments se font sur de courtes distances : l'importance des couvertures végétales limite considérablement le ruissellement et les sédiments sont déposés pratiquement sur place.
- Les formes déterminées par le relevé médian Re27, qui renvoient à des sols vertiques en place sur des sections transitives. Ce type d'organisation se localise généralement dans les sections en aval des talus. Les couvertures végétales, moins denses, permettent dans une certaine mesure une activité érosive plus importante. Mais ces milieux sont également plus profonds : le tanolite marneux est recouvert d'un manteau de sol assez conséquent qui laisse supposer des dynamiques de pédogenèse relativement importantes.

Mais ces modèles génériques paraissent mal adaptés à la réalité du terrain. En effet il est important de signaler que ces talus présentent souvent des successions latérales assez complexes ce qui rend par conséquent l'établissement d'un modèle spatial pertinent assez difficile (contrairement à ce qu'il est possible d'établir pour les versants par exemple). Selon l'emplacement des affleurements gréseux, mais aussi en fonction de la longueur des ensembles ou encore des différences de densité dans les couvertures végétales, de multiples variations surviennent dans les organisations de la géosphère qui les caractérisent. Il est ainsi fréquent, sans que cela ne soit systématique, de rencontrer des formes d'accumulations des sols sur les parties les plus en amont et des figures d'ablation dans les parties en aval. Le rôle des couvertures végétales est d'ailleurs très important lorsque ce phénomène se produit. La nature des sols elle-même change rapidement et souvent de manière significative : des sols bruns en place succèdent à des sols vertiques colluviaux, des sols sableuses apparaissent par endroits. Ces variations ne peuvent naturellement pas être l'objet d'un modèle d'organisation vertical à chaque fois qu'un changement survient. Ce qui équivaldrait à créer trop de types différents et ferait disparaître toute tentative de synthèse. Il faut donc se contenter des quelques types mis en évidence même si ces derniers ne reflètent que partiellement la réalité.

VII.4.2 - Tanolites et sols bruns

Contrairement aux milieux tanoliques développant des sols vertiques, les milieux développant des sols bruns ne se répartissent pas suivant les composantes "en place" et colluvial" mais révèlent trois types d'organisation, dont un est très largement sous représenté. Les traitements numériques mettent ainsi en évidence :

- Les espaces boisés d'Abdeladim (18 relevés soit 12,5 % du total des observations),
- Les versants à l'amont d'El Hnach et les formes qui leur sont assimilées, placées ailleurs dans ce paysage (12 relevés soit 8,3 % du total des observations),
- Les sols bruns colluviaux (5 relevés soit 3,5 % du total des observations).

Il est important de noter que la relative sous-représentation des relevés développant des brunichrons d'origine entaférique tient au fait qu'une majorité des observations dans laquelle figure ce type de sols sont définies dans le cadre des milieux kéritiques. Il est donc logique qu'ils n'entrent pas dans cette partie de l'analyse même si leur nature les y autoriserait. Mais outre cette évidence, ce phénomène renvoie à deux éléments importants pour l'analyse des paysages :

- Rares sont les espaces où existent des sols bruns colluviaux sans que n'apparaissent des formes de concentrations continues de calcaire. Les quelques points de la géosphère concernés renvoient donc à des dynamiques très différentes par rapport à l'ensemble majoritaire dans les milieux kéritiques, même si les sols semblent à priori de même nature.
- Cela met également l'accent sur le fait que contrairement aux sols vertiques, les sols bruns renvoient à des dynamiques très différentes selon la position qu'ils occupent sur les versants et les processus responsables de leur mise en place : en milieu vertique, les distinctions réalisées correspondent plus souvent à des localisations différentes (amont / aval) qu'à de réels changements du point de vue des cheminements de l'eau dans le milieu ou des processus de transformation de la matière. En milieu tanolique brunichrome en revanche la nature du sol met en évidence des phénomènes très différents qu'il convient d'analyser séparément.

Les milieux tanoliques développant des sols bruns se répartissent donc en trois axes majoritaires auxquels il faut également rattacher deux ensemble de formations plus *rare*s dans le milieu : la première définit les versants d'El Hnach subissant des mouvements de masse et la seconde correspond à certains sommets de talus du paysage de Kamech. Une fois ces derniers modèles analysés, nous aurons toutes les clés en main pour passer à la segmentation des paysages.

VII.4.2.1 - Les espaces boisés d'Abdeladim..

Considérons en premier lieu les espaces boisés d'Abdeladim. Les 18 relevés concernés permettent de définir un orthotype rassemblant 10 relevés autour des relevés médians Re6 et Re7, une variante secondaire (6 relevés autour du relevé médian Re3) et un intergrade (2 relevés autour du relevé médian Re22) localisé en périphérie des forêts. Le modèle formulé pour caractériser cet ensemble est présenté en figure 7.8.

L'orthotype se définit, chose assez rare en somme, par une succession complète du milieu : depuis l'infraplexion jusqu'au supraplexion, tous les hoplexions sont représentés. Il s'établit en deux groupes de relevés : autour de Re6, caractérisant plutôt les sections amont des jebels

(sans que cela ne soit nécessairement systématique) et Re7 correspondant plutôt aux sections plus en aval. Les deux jebels d'Abdeladim (Q1 et Q2 prennent place dans cet ensemble).

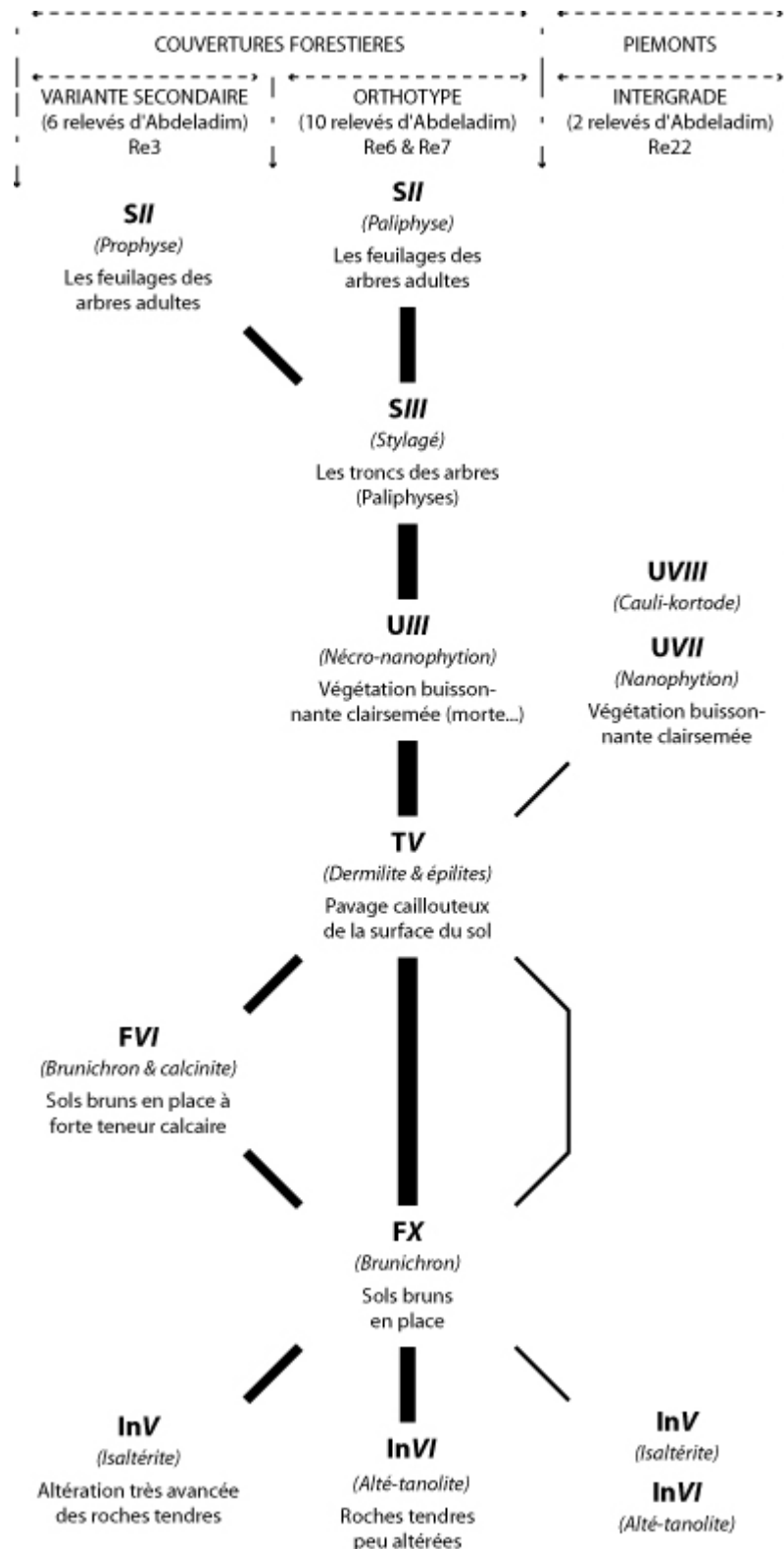


Figure 7.8 : Orthotypes, intergrades et variantes dans les milieux tanolique brunichromes boisés.

L'orthotype et sa variante secondaire, même s'ils affichent quelques différences dans les modèles qui les représentent, peuvent être analysés de pair. En effet, les structures mises en

évidence sont souvent proches et il n'est pas rare de rencontrer de nombreuses interférences entre elles sur le terrain. Sous la surface du sol, le tanolite marneux (*InVI*) précède un brunichron (*FX*) dans l'orthotype (le brunichron s'apparente dans ce cas à une rendzine). A ce titre, il ne semble pas qu'il existe de réels processus de transformation de la matière dans les ensembles concernés. En effet, l'absence de structures altéritiques telles que des isaltérites ou des allotérites connote l'idée d'espaces relativement inertes du point de vue de la pédogenèse. Le fort déficit hydrique que connaît cette région et le faible développement des sols rend ces milieux peu propices au maintien de l'eau en profondeur le temps nécessaire pour que les processus se mettent en place. Rappelons toutefois pour nuancer ce propos que l'infraplexion tanolique connaît une grande variabilité spatiale et que de nombreuses dérivées peuvent exister entre l'orthotype défini dans ce cadre et les divers relevés qui entrent dans cet ensemble. D'ailleurs si l'on considère la variante secondaire l'infraplexion n'est plus alté-tanolique mais isaltéritique (*InV*) : elle renvoie de ce fait à des processus actifs au niveau de la transformation progressive de la roche en sol. La diversité rencontrée ici met une fois de plus l'accent sur la difficulté pour définir des types pertinents et fixes dans les espaces développés sur roches tendres.

Dans le métaplexion inférieur, la variante secondaire affiche également une différence par rapport à l'orthotype : elle inclut des traces de concentrations des calcaires (nodules et pseudo-mycéliums) dans les sols (*FVI*). La présence de ce matériau témoigne évidemment de processus conduisant peu à peu à un encroûtement plus massif : les cheminements de l'eau dans ces milieux sont favorables aux processus de dissolution / précipitation des carbonates. L'emplacement des relevés de milieu concernés plutôt dans les parties en amont des reliefs tend à rapprocher les structures définies ici, des milieux décrits précédemment dans les ensembles kéritiques (paragraphe VII.3.1 et VII.3.3). Mais là encore ce type de formation n'est pas nécessairement spécifique à l'une ou l'autre des structures répertoriées : des traces d'encroûtements et même des encroûtements plus massifs peuvent se rencontrer ailleurs dans le paysage sans qu'il ne soit possible de déterminer à chaque fois un nouveau modèle. Il est également assez fréquent de rencontrer des sols colluviaux (*FVIII*) surmontant les sols en place (notamment dans les sections forestières localisées sur des glacières). De multiples formes existent ainsi dans les sols et les formations géologiques superficielles. Elles renvoient de ce fait à des milieux assez complexes dont il est difficile d'appréhender la structure spatiale du fait de la répartition aléatoire des composantes qui y prennent place. Les dynamiques mises en avant sont aussi difficilement cernables du fait de leur multiplicité. Ainsi seules les structures les plus fréquentes et les plus représentatives des phénomènes régissant l'infraplexion et le métaplexion inférieur sont rassemblées ici. Même si elles ne permettent pas directement d'avoir une connaissance de l'ensemble des processus en jeu, elles fournissent tout de même une précieuse source de renseignements pour la modélisation des cheminements de l'eau dans les sols.

En tout état de cause les modèles choisis ici sont surtout retenus dans un autre but : ils permettent de faire apparaître la structure auréolaire imposée par les couvertures forestières. Ainsi l'orthotype et sa variante peuvent être mis en relation directe avec l'intergrade formulé sur la figure 7.8. Il est également possible de rapprocher ces structures des géons définis dans la figure 7.5 (paragraphe VII.3.3) : leurs structures verticales sont très proches et les mêmes problèmes de détermination avaient été signalés.

Ainsi, l'orthotype et sa variante majeure apparaissent au dessus de la surface du sol dans une succession à peu près identique : tous deux affichent un pavage caillouteux (*TV*) dans le métaplexion strict puis des buissons peu vigoureux largement dominés par des phases nécrophytiques témoignant de l'absence de lumière qu'ils subissent au fil du temps (*UIII*) dans le métaplexion supérieur. Le supraplexion est également marqué par la présence de stylagés (*SIII*) dans les deux ensembles.

La divergence entre les deux types survient au dessus de ces derniers : l'orthotype est défini par des paliphytes (SII) assurant une couverture continue de l'ensemble du reste du milieu naturel. Les relevés concernés se localisent soit à l'aval de la première toposéquence d'Abdeladim (englobant l'intégralité de la partie boisée du glacis et la section aval du jebel), soit sur le jebel de la seconde toposéquence d'Abdeladim, hormis le relevé situé en lisière aval de la forêt. (ABD Q2 R5). Au sein des espaces cités, seules les formations de l'orthotype prennent place. La continuité des couvertures forestières est en effet telle qu'aucune distinction vraiment significative ne peut être signalée dans le métaplexion. Les flux énergétiques nécessaires à la croissance des sous-bois sont très fortement limités et les rares touffes de nanophytions qui parviennent à survivre affichent plus de composantes nécrophytiques que de branches vivantes ! En outre l'absence dans le sous-bois de prophyses et de pénephytion, témoigne du fait que cette forêt risque rapidement de dépérir. Les arbres qui la forment ont tous atteint leur stade maximal de développement et ne peuvent plus évoluer que vers un stade nécrophytique. Ils ne pourront être remplacés naturellement du fait de l'absence d'une jeune génération en attente de leur disparition. Sans l'intervention humaine imposant un plan de reboisement efficace, les décennies à venir risquent de voir un profond bouleversement de ce paysage.

La variante secondaire en revanche est décrite par des prophyses (SII également, mais des différences surviennent au niveau du développement des types d'hoplexol et du ratio SIII / SII). Les relevés concernés se localisent majoritairement à l'amont du jebel de Q1. L'un d'entre eux prend également place à la lisière aval de la forêt localisée sur le jebel de Q2. Les espaces occupés par ces relevés affichent des couvertures forestières plus lâches, composées d'arbres en passe d'atteindre le stade maximal de leur modèle de croissance (prophyses) et d'arbres encore plus jeunes (VII.3.3). A ce titre ils affichent un développement plus important en hauteur qu'en largeur. C'est d'ailleurs l'éloignement des plantations et les faibles extensions latérales des frondaisons qui sont responsables des *trous* existant entre les arbres : l'espace laissé vacant permet alors aux flux énergétiques et hydriques d'atteindre le sol en quantité suffisante pour permettre le développement d'un *sous-bois* plus fourni. Les relevés en intergrade de la figure 7.8 (et également certains relevés de la figure 7.5) s'y placent : la végétation de type UVII affiche, contrairement à l'orthotype, des formes de croissances des buissons et de la végétation herbacée (UVIII) ce qui tend à les opposer nettement aux buissons existants sous couverture forestière continue. Nous ne détaillerons ici pas d'avantage les dynamiques car l'analyse fine a déjà été réalisée lors de la typologie des hoplexols.

Les structures mises en évidence correspondent *tout au plus* à des géons qui se partagent l'espace d'une même facette topographique (au moins en ce qui concerne l'intergrade et la variante secondaire de la figure 7.8). Il est alors aisé de comprendre que ces deux entités assurent le contenu mésologique d'un même segment de paysage relativement complexe du point de vue de sa structure, de ses développements et de ses dynamiques. En revanche, les successions verticales de l'orthotype déterminent les contenus de deux facettes très différentes du point de vue topographique (une facette de glacis et une facette de jebel). Dans ce cas un même géon s'applique pour deux segments de paysages. Il conviendra alors de nuancer les dynamiques de chacun d'eux car il est très probable que des distinctions notoires surviennent du fait de systèmes de pentes différents, même s'ils affichent une structure verticale *identique*. Mais ne nous avançons pas encore dans ce domaine : il reste encore à analyser trois structures avant de passer à la segmentation des paysages. Le point suivant de ce paragraphe tâche de mettre en évidence les structures développées sur des sols bruns de nature quelque peu différente.

VII.4.2.2 - Les brunichrons en place au sein du paysage d'El Hnach.

Le second ensemble que l'on est amené à considérer dans ce paragraphe correspond à des organisations du paysage d'El Hnach. Les 12 relevés concernés permettent de décrire un orthotype centré autour du relevé médian Re39', une variante majeure (Re11) et deux variantes secondaires (Re40 et Re19). Avec ces résultats la grande majorité des paysages d'El Hnach est caractérisée.

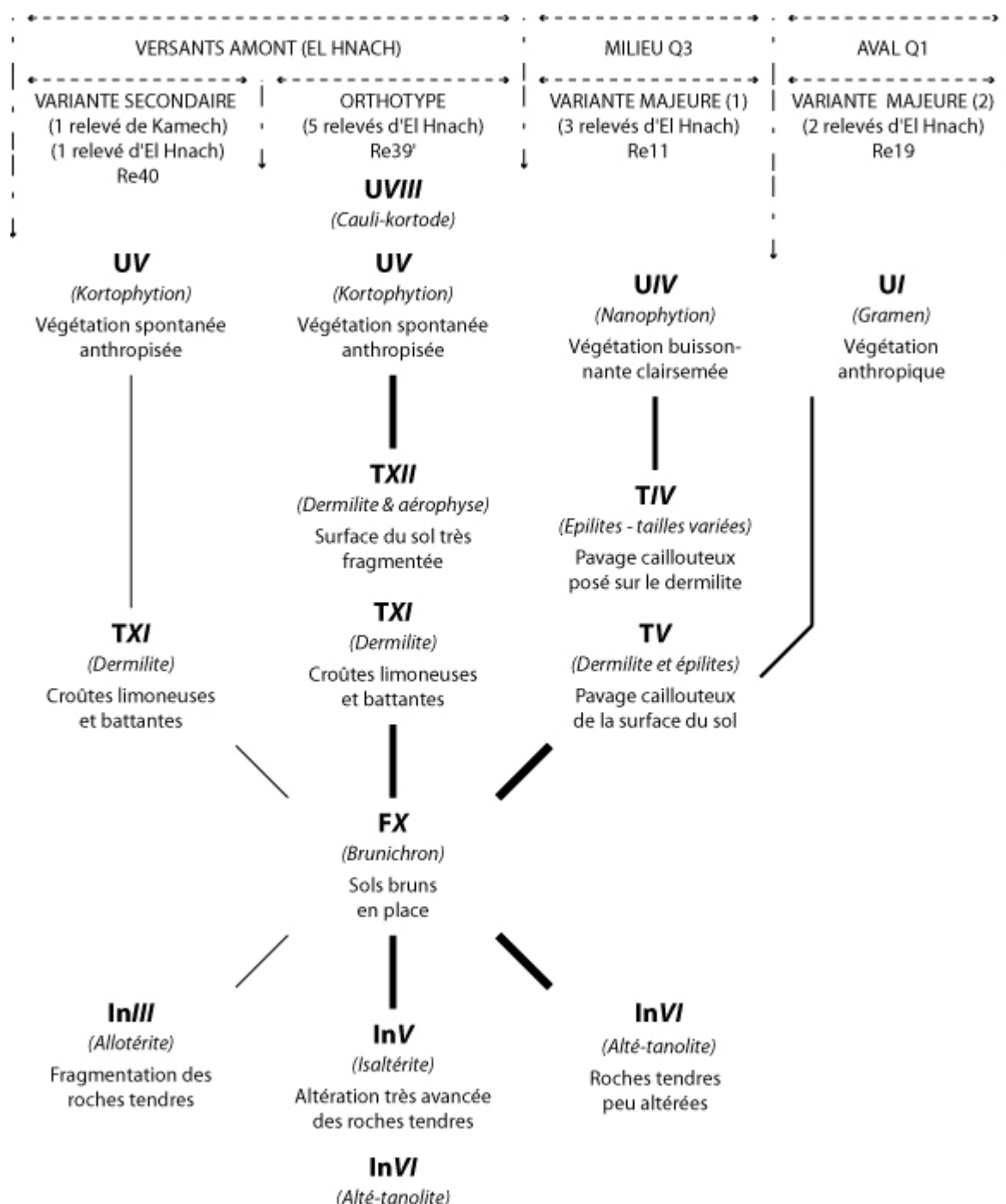


Figure 7.9 : Orthotypes, intergrades et variantes dans les milieux tanolique brunichromes d'El Hnach.

L'orthotype décrit ici englobe 5 relevés de milieu, tous inscrits sur un unique versant situé à l'amont du paysage (quatrième toposéquence d'El Hnach, facette topographique de type 7). Il partage cet espace avec la première variante secondaire apparaissant la figure 7.9. Notons également que cette variante s'inscrit également au sein du paysage de Kamech : elle caractérise un relevé de la toposéquence quatre bis (Q4' séquence aval, rive droite).

Au niveau de l'organisation, l'orthotype se développe sur un alté-tanolite (InIV) et sur un important front d'altération de la roche tendre sous-jacente (InV). Les relevés concernés se distinguent en cela de la première variante secondaire pour laquelle le milieu est moins profond et les processus de transformation de la matière moins actifs : l'isaltérite est alors remplacée par un allotérite (InIII). Dans le métaplexion inférieur, c'est un brunichron (FX) peu lessivé et assez massif, pouvant être apparentés à un gley, qui apparaît sur une épaisseur comprise entre 30 et 40 centimètres. De par sa nature, ce type de sol offre une bonne résistance face aux agents climatiques responsables de l'érosion hydrique. En outre il permet également le stockage d'une quantité importante d'eau. Notons à ce sujet qu'une partie de l'espace considéré était encore largement saturée en eau plusieurs jours après le dernier épisode pluvieux. Cette saturation se marquait par une petite *résurgence*, située à mi-versant, pour laquelle l'eau était directement visible en surface et qui traduit l'existence d'une nappe superficielle temporaire. Malheureusement si ce constat a pu être réalisé, il n'a pas fait l'objet de mesure : l'état de saturation était tel qu'il interdisait toute ouverture de fosse pédologique. Les explications de ce phénomène sont donc très limitées pour la simple raison qu'il est impossible de connaître ce qui survient en dessous de la surface du sol. En tout état de cause, hormis le caractère vertique spécifique à Kamech, les propriétés de ce type de sol (texture, teneur en argiles, capacité à retenir l'eau...) sont globalement identiques à celles du type FIII rencontrés sur le paysage de Kamech. Ils sont par conséquent affublés des mêmes phénomènes hydriques et par des dynamiques érosives proches.

En surface, lorsque le milieu n'est pas saturé, les relevés concernés (l'orthotype et première variante secondaire) affichent une pellicule pouvant être assimilée à une croûte de battance (TXI). Celle-ci se retrouve parfois très fragmentée : sa destruction, matérialisée par le type de métaplexion strict TXII, correspond au passage de troupeaux d'ovins donc le piétinement permet le détachement et la dislocation de la pellicule originelle. A ce titre, le type TXII est très localisé spatialement, mais il peut naturellement se retrouver en d'autres lieux présentant les mêmes caractéristiques. Lorsque ce phénomène se produit il est très éphémère. Les agents tels que la pluie ou le vent permettent soit d'emporter les particules les plus fines (lorsque la fragmentation est extrême et rend le matériau poudreux) soit reformer rapidement une nouvelle croûte venant remplacer l'ancienne.

Enfin, il faut également signaler que l'espace considéré ici correspond à une jachère anthropique. La végétation de type UV trouve alors naturellement sa place. Mais cet état est toujours temporaire. Comme cela fut signalé à de multiples reprises, il peut changer assez rapidement et pour différentes raisons. La modification la plus évidente et la plus radicale est bien évidemment celle du passage de la jachère à la mise en culture. Envisager un type UI dans cet espace n'est alors pas interdit (bien au contraire). Mais ces changements peuvent aussi être réalisés de manière plus subtile : la pâture favorise des développements différents des végétaux (le milieu sera alors plus ou moins haut en fonction des secteurs de passage du bétail), la composante saisonnière est également un élément important de modification. Cela est d'ailleurs visible entre l'orthotype et la première variante secondaire : dans un cas, des hoplexols de type UVIII, marquant la croissance des inflorescences du kortophytion, sont présents tandis qu'ils n'existent pas encore (ou déjà plus) dans l'autre. Notons que ces remarques ne sont pas spécifiques au modèle présenté en figure 7.9 mais peuvent également être appliquées à tous les espaces en jachère ou mis en culture.

Avant de passer au détail des deux variantes restantes, il est important de signaler que le modèle présenté ici affiche une structure similaire à celle des modèles servant à caractériser les milieux vertiques (figures 7.6 et 7.7). En effet, hormis les différences rencontrées dans le métaplexion inférieur (*FIII* ou *FIX* dans un cas et *FX* dans l'autre), liées à des conditions de drainage (essentiellement) différentes lors de la mise en place des sols, les profils affichent les mêmes organisations. En cela, les espaces concernés, qu'ils se localisent sur Kamech ou sur EL Hnach, sont très proches. Il semble qu'ils soient régis par les mêmes dynamiques hydriques et érosives (nappes temporaires superficielles, ruissellement...) et qu'ils répondent des mêmes processus de transformation de la matière (oxydation, altération des roches...) malgré leur éloignement spatial. Les dynamiques mises en évidence et le rapprochement entre ces deux paysages permettent de matérialiser un contraste très net au sein du paysage d'El Hnach. En effet, entre son centre et sa périphérie se présentent des organisations paysagères très différentes. Comme nous l'avons détaillé précédemment, le centre du bassin versant (correspondant à la combe) est majoritairement dominé par des processus de concentration des calcaires. Le paysage est alors marqué par des glacis encroûtés sur lesquels prennent place des sols colluviaux très lessivés. Peu de processus de transformation de la matière existent d'ailleurs en ces lieux (pas de renouvellement des sols, pas d'altération des roches en profondeur...). Seuls les phénomènes érosifs semblent actifs dans cette partie du paysage. Ils conduisent d'ailleurs progressivement au démantèlement des glacis et entraînent à la mise en place de secteurs très fortement ravinés. Dans sa *périphérie* en revanche, notamment dans l'espace décrit dans ce point, les structures en place témoignent de phénomènes très différents qui se matérialisent par une importante activité de transformation de la matière. Les cheminements de l'eau ainsi que son action dans le façonnement du milieu naturel dans ces deux portions de bassin versant sont donc de natures pratiquement opposées (bien que des nuances soient apportées dans la suite de cette analyse car les deux variantes non encore détaillées permettent l'identification de phénomènes encore différents). En cela le paysage d'El Hnach est véritablement singulier par rapport aux deux autres milieux étudiés dans cette thèse : Kamech et Abdeladim affichent des structures qui se répètent à l'identique et qui renvoient à des dynamiques globalement similaires quelque soit l'espace auquel on s'intéresse. Notons d'ailleurs que les oppositions internes d'El Hnach font d'une manière ou d'une autre référence à l'un ou à l'autre des paysages. Ainsi les structures de la combe tendent à la rapprocher dans une certaine mesure des agencements d'Abdeladim tandis que dans sa périphérie, les organisations affichent de nombreux points communs avec Kamech... Ces similitudes sont très certainement fortuites, mais dans tous les cas elles facilitent les analyses qui sont réalisées dans la suite : une même organisation répondant d'une manière générale à des processus identiques, les cheminements de l'eau mis en évidence dans un cas peuvent s'appliquer à tous les espaces présentant les mêmes caractéristiques organisationnelles. Malheureusement connaître les raisons de ces oppositions internes est assez difficile car elles sont liées à de multiples conditions initiales variant d'un point à l'autre. Les premières qui nous viennent à l'esprit sont bien entendu les facteurs géologiques : le centre et la périphérie s'inscrivent dans des strates d'âge différent (les plus anciennes étant situées au centre du bassin versant). Il se peut alors que sous l'apparente homogénéité des marnes se cache des propriétés physiques contrastées qui ont pu conduire dans un cas à la mise en place de glacis (encroûtés par la suite) et dans l'autre de versants réguliers et plus pentus. Il est également probable que les couches plus résistantes aient contribué à ces différenciations (mise en place des encroûtements, structuration de la topographie...).

Deux variantes figurent également dans le modèle d'organisation vertical du milieu. Elles viennent compléter et affiner les analyses précédentes et permettent d'amener de nouvelles nuances au sein du paysage d'El Hnach. Les éléments qu'elles mettent en évidence sont en

autre utiles à la détermination des contenus mésologiques des facettes topographiques de *glacis modernes* (facettes de type 4) qui occupent une large majorité de ce paysage.

Considérons en premier lieu la variante majeure 1 (figure 7.9). Celle-ci est rattachée à trois relevés de milieu et permet de caractériser la partie médiane de la troisième toposéquence d'El Hnach. A cet endroit, le milieu se caractérise par une succession d'alté-tanolite (InVT) et de brunichron (FX) sous la surface du sol. En cela, la structure est proche de l'orthotype à deux éléments près : aucune forme d'altération avancée de la roche mère (type isaltérite) n'apparaît et la nature du sol ne correspond pas à un gley, mais s'apparente plus à une rendzine. Le milieu est également moins développé que dans l'orthotype. Le métaplexion strict se compose d'un pavage caillouteux de type TV que l'on retrouve également posé au dessus de l'épipause (TIV). Enfin le métaplexion supérieur se distingue par une végétation pérenne et buissonnante (UIV).

La structure ainsi mise en évidence s'établit sur un tanolite marneux qui alterne avec des couches gréseuses. Cette alternance n'est pas très rapide (comme ce serait le cas des reliefs structuraux de ELH Q1) : entre les bancs marneux, d'une quinzaine de mètres de large, s'intercalent des couches gréseuses d'1 à 2 mètres de développement. De ce fait, la structure définie dans le cadre de cette variante majeure doit être mise en relation avec la l'orthotype de la figure 7.1 (régolite en profondeur). Les deux types d'organisation présentés sont d'ailleurs pratiquement identiques sauf que dans un des deux cas, c'est un régolite peu altéré qui occupe le milieu en profondeur. Ensemble, les deux types de successions verticales permettent la définition de géons endogènes, c'est-à-dire des géons qui se répètent dans le milieu en alternant l'un par rapport à l'autre comme par exemple une succession de billions et d'inter billions.

Enfin le dernier élément à analyser dans le cadre des brunichrons en place est décrit par la seconde variante majeure qui apparaît sur la figure 7.9. Cette variante ne concerne que deux relevés de milieux situés à l'aval de la première toposéquence d'El Hnach mais le type décrit ici s'applique également à l'ensemble des glacis modernes de ce paysage. A ce titre cette variante permet de définir l'organisation verticale d'une grande partie du bassin versant : la majorité des glacis actifs s'organisent de la même manière que les deux relevés considérés ici. D'un point de vue organisationnel, cette variante diffère peu par rapport à son orthotype. Les successions qu'elle affiche sous la surface du sol sont globalement similaires, à cela près que la nature du brunichron correspond plus à un sol brun calcaire (de part sa couleur, et sa structure) qu'à un gley. En outre, ces sols sont peu lessivés et contiennent de ce fait (à priori) une part encore importante d'argile. En cela ils s'opposent nettement aux sols positionnés directement en amont, sur la partie encroûtée du glacis. C'est d'ailleurs ce qui leur a valu l'appellation de brunichron même si un doute subsiste à l'heure actuelle quant aux dynamiques de mises en place de ce matériau : de par leur position dans le milieu il est possible que ces sols soient liés au colluvionnement, du moins dans une certaine mesure. Des mouvements le long des versants sont en effet envisageables dès lors que l'on considère les processus responsables de l'établissement de la structure dans son ensemble. Il s'agit d'un glacis d'érosion qui s'est construit progressivement du fait de l'érosion survenant le long des lignes de crêtes et du colmatage progressif des ravines jusqu'à stabilisation des versant en un vaste plan incliné homogène topographiquement. Quoi qu'il en soit, il est impératif de distinguer la nature de ce brunichron et de l'opposer à celui qui prend place plus en amont.

Relativement épais, ces sols se développent sur un substrat marneux peu altéré (bien que celui-ci puisse varier localement vers un isaltérite) dans lequel figurent des traces de concentration de calcaire. Les encroûtements qui se forment sont toutefois très discontinus : ils s'établissent principalement dans les fissures verticales du tanolite et présentent une forme

fistulaire. Ils traduisent toutefois une dynamique liée à la mise en place des croûtes calcaires (dont le détail apparaît dans les paragraphes précédents) : lessivage oblique des carbonates et précipitation en profondeur. Les processus sont toutefois très lents actuellement du fait de conditions climatiques non propices la formation de telles structures.

Dans le métaplexion strict, un pavage caillouteux (TV) assez lâche témoigne de la présence de bancs de régolites gréseux : ceux-ci s'intercalent entre les couches de marnes et sont relativement peu conséquents du point de vue du développement. Leur présence en surface est très probablement liée au passage d'engins de labours qui permet leur remontée. A ce titre ce pavage surfacique est relativement limité spatialement. Les autres formes de glaciis rencontrées affichent d'ailleurs plus souvent une croûte de battance de type TXI, plus simple du point de vue organisationnel. Enfin le métaplexion supérieur correspond à une mise en culture. De ce fait, c'est le type UI qui prend place dans ces ensembles. Comme cela fut détaillé maintes fois auparavant, ce type de végétation pourra évoluer vers une jachère de type UV.

VII.4.2.3 - Les brunichrons colluviaux (types rares).

Le troisième ensemble permettant de définir les milieux tanoliques correspond à des structures relativement rares dans les paysages étudiés (figure 7.10). Les sols bruns colluviaux apparaissent ici comme des éléments marginaux de la géosphère, représentés par seulement 4 relevés : deux sont localisés en aval de la troisième toposéquence d'El Hnach et deux se positionnent à l'amont de la cinquième toposéquence de Kamech.

Cette faible occupation spatiale reflète cependant mal la réalité. En effet les brunichrons colluviaux occupent en fait un espace bien plus vaste que ces quelques points d'observation qui renvoient d'ailleurs plus à des espaces en marge dans nos trois paysages qu'à des structures intégratrices. Toutefois s'ils n'apparaissent pas en tant que tels dans cette partie, c'est pour la simple raison que pratiquement tous sont liés aux croûtes en encroûtements calcaires. A ce titre, ils prennent essentiellement place dans les modèles présentés au paragraphe VII.3. Il est important de noter que cette caractéristique oppose clairement les milieux vertiques et les milieux brunichromes : quelques en soit les processus qu'ils subissent lors de leur mise en place, les sols vertiques affichent actuellement les mêmes dynamiques hydriques. Vertichrons et entaféro-vertichrons connaissent un destin similaire du point de vue du cheminement de l'eau dans le milieu naturel. Les milieux brunichromes en revanche sont nettement plus contrastés et proposent de ce fait de multiples possibilités d'interprétation. Dans les forêts d'Abdeladim, sur les versant d'El Hnach ou encore en certains points de Kamech, ils renvoient toujours à des processus différents pouvant impliquer des dynamiques hydriques opposées : stockage important ou au contraire infiltration très limitée, phénomènes de concentration / précipitation des calcaires opposée aux phénomènes de transformation de la matière, lessivage des sols ou enrichissement en argiles... Autant de comportements différents qui permettent d'apporter maintes précisions sur les paysages et de nuancer leurs caractéristiques hydrodynamiques. Malgré le fait que les organisations présentées ici soient très restreintes spatialement, elles offrent tout de même la possibilité d'apporter de nouvelles précisions sur les organisations de la géosphère et ainsi contribuent à affiner les analyses et le futur découpage en segments de paysages.

Considérons en premier lieu les deux relevés d'El Hnach. Ceux-ci se positionnent dans la section aval de la troisième toposéquence d'EL Hnach, sur un versant peu incliné localisé en limite de l'oued principal. De par leur position, il semble logique que les sols qui s'y placent soient de nature colluviale (FVIII). Mais cette caractéristique commune avec les entaféro-brunichrons décrits dans le paragraphe VII.3 n'est qu'illusoire. En effet, l'infraplexion dans cet

ensemble renvoie, contrairement aux milieux kéritiques, à des processus d'altération et à des dynamiques pédogénétiques qui traduisent des phénomènes de transformation progressive de la roche mère en sols.

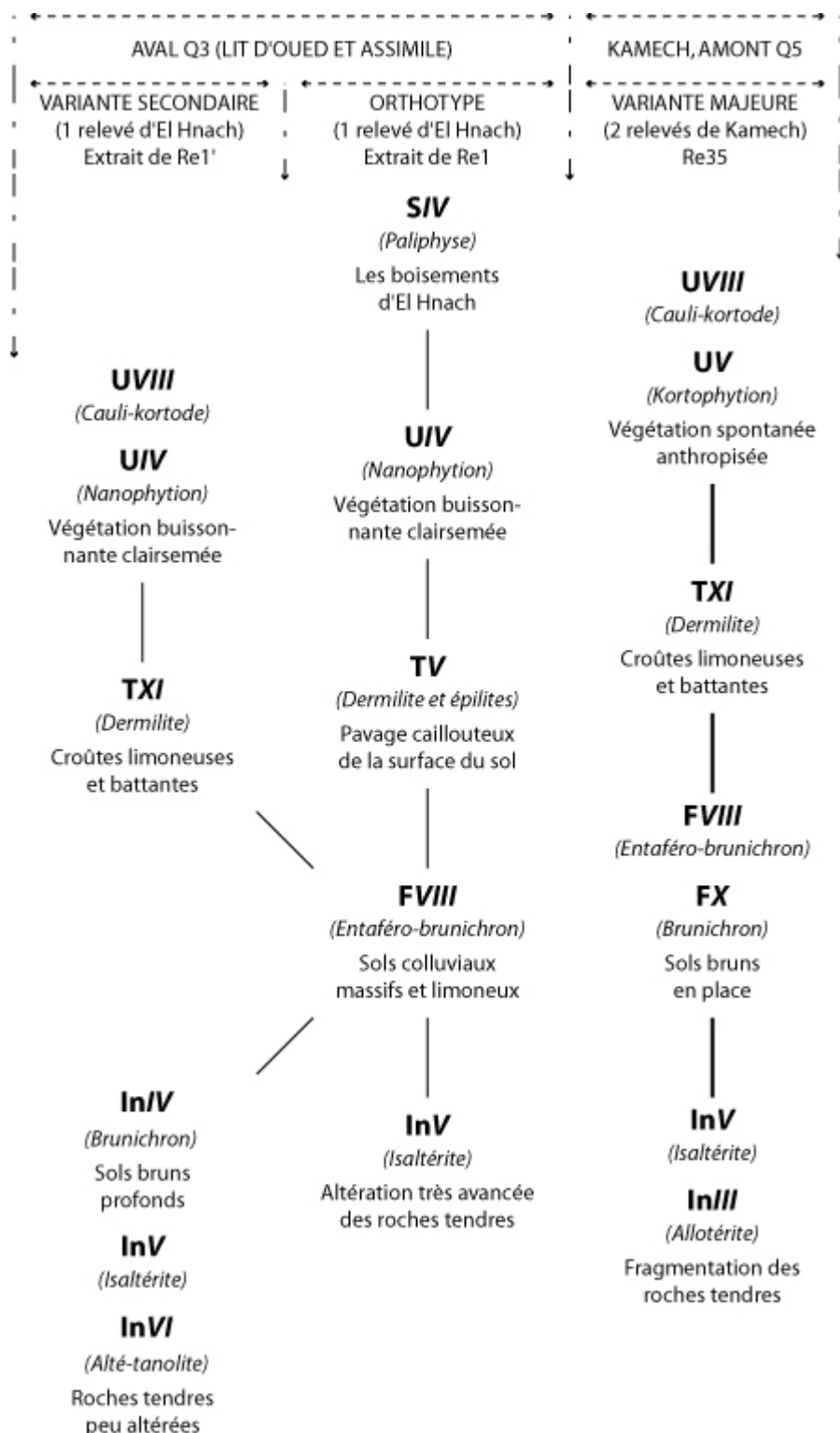


Figure 7.10 : Orthotypes, intergrades et variantes dans les milieux tanolique brunichromes entafériques.

A ce titre, les types d'hoplexols qui prennent place dans ce modèle sont soit des isaltérites (InV) pour l'orthotype et une succession complète InVI / InV / InIV dans la variante

secondaire. Le milieu est d'ailleurs plus développé dans l'orthotype : celui-ci se localise en bordure du lit mineur de l'oued et affiche de ce fait les épaisseurs maximales permises dans cette structure. Une gradation dans la profondeur des tanolites apparaît ainsi entre les deux relevés concernés. En outre, les organisations relevées sous la surface du sol ressemblent à s'y méprendre à celles observées à l'amont du paysage d'El Hnach (Q4). Ce fait n'est pas vraiment surprenant si l'on considère la nature du substrat géologique : la couche de marne est en fait la même. Il est alors logique que les formes d'altération et les sols qui s'y développent affichent les mêmes caractéristiques. Les processus ainsi que le cheminement des flux d'eau en profondeur dans le milieu sont également similaires.

Les principales différences qui surviennent entre ces deux relevés apparaissent avec le métaplexion strict : l'orthotype présente en effet un pavage caillouteux inclus dans le dermilite (TV) qui l'oppose au simple dermilite (TXI) de la variante secondaire. Le métaplexion supérieur en revanche ne voit pas de différences majeures entre les deux formations. Une végétation buissonnante, assez dense et pérenne prend place dans les ensembles caractérisés. Notons toutefois que les deux relevés concernés ici, distants dans le milieu d'une cinquantaine de mètres sont en fait séparés par une parcelle agricole. Cette dernière n'a malheureusement pas fait l'objet d'un relevé spécifique : les organisations présentes sous la surface du sol restent les mêmes que dans l'orthotype. Le seul facteur de changement intervient au niveau des couvertures végétales : celles-ci sont naturelles dans l'orthotype et dans sa variante mais sont d'ordre anthropique entre ces deux composantes organisationnelles. De ce fait il est nécessaire, pour respecter l'agencement du milieu, de considérer un géotope supplémentaire même si ce dernier n'a pas fait l'objet d'une identification propre. En tout état de cause la formulation d'un modèle supplémentaire incluant une végétation UI ou UV n'est en rien préjudiciable : de nombreuses observations ont déjà permis de caractériser ce type de structures végétales et l'absence de changements sous la surface du sol n'entraîne pas de déformation majeures par rapport à ce *relevé virtuel*.

En dernier lieu, il convient également de signaler un élément clé dans l'organisation analysée : l'unique relevé de l'orthotype présente des structures végétales dans le supraplexion (SIV). Les formes rencontrées ici (plus apparentées à de grands buissons qu'à des arbres à proprement parlé bien que des stylagés déterminent la base de leurs structures) sont très rares au sein du paysage d'El Hnach. Elles correspondent d'ailleurs à des plantations réalisées par l'homme dans une optique de stabilisation des versants. Les végétaux choisis assurent également une autre fonction : celle de servir de fourrage lorsque les contraintes climatiques (sécheresse notamment) limitent trop le développement des pâturages naturels (jachères anthropiques, végétation spontanée). De ce point de vue, les paliphyse diagnostiqués sur El Hnach s'opposent fondamentalement à ceux d'Abdeladim et en fonction des contraintes du milieu ils risquent de disparaître très rapidement du fait de l'homme. Même s'il est envisageable, cet état particulier n'a cependant pas été rencontré sur le terrain. Nous ne pouvons donc pas imaginer leur forme si les besoins anthropiques imposaient de tailler ces arbres. De ce fait, ils ne sont présentés dans les modèles à venir que sous la forme rencontrée sur le terrain. Les structures ainsi mises en évidence assurent ainsi les mêmes fonctions qu'un paliphyse naturel (interception, redistribution des flux d'eau et d'énergie).

En tout état de cause les deux relevés identifiés ici ainsi que le *relevé virtuel* qu'il est possible d'ajouter s'inscrivent dans un même géon. Les différences de l'infraplexion et la présence d'éléments du supraplexion n'étant pas réellement déterminantes pour permettre l'identification de plusieurs géons. Ce géon est en outre défini par trois géotopes pour lesquels les changements d'état et les comportements vis-à-vis des flux hydriques varient de manière sensible. Tous ces géotopes prennent en revanche place dans un même segment de paysage.

Ce modèle permet également de compléter les connaissances sur les organisations du paysage de Kamech. La variante majeure définie dans le cadre de la figure 7.10 renvoie à deux relevés de milieu apparaissant à l'amont de la cinquième toposéquence de ce paysage. Dénotant par rapport au reste des structures verticales de ce bassin versant par la présence d'un brunichron (FX) en profondeur surmonté par un entaféro-brunichron (FVIII), ce type de milieu renvoie à des dynamiques de mise en place liées à des conditions de drainage différentes. C'est probablement la structure géologique qui est responsable de ce type de formation : situés à l'amont des versants de la rive gauche, les deux relevés concernés s'inscrivent en effet sur un substrat marneux d'une quinzaine de mètres de large placés entre deux affleurements de grès de dimensions très conséquentes (comparés à ceux situés plus en aval). Notons que dans ce cas ces affleurements structurent le relief avec une telle puissance qu'ils limitent fortement l'érosion des marnes. De ce fait aucun talus n'existe en ces lieux et les versants sur marne se maintiennent tels de vastes espaces peu inclinés et localement *vallonnés*. Ce sont également ces affleurements plus puissants qui permettent de fixer les limites du paysage, quelque soit la rive considérée. Bref, il est fortement probable que cette influence sur la topographie ait également des répercussions sur les flux hydriques, notamment en ce qui concerne les conditions de drainage : les écoulements au-dessus et au dessous de la surface du sol ne sont pas réalisés à la perpendiculaire des affleurements de grès (comme c'est le cas pour la majorité du paysage) mais parallèlement à ces derniers. De ce fait, il semble qu'il existe en ces lieux un meilleur drainage et un stockage d'eau moins long à l'intérieur des sols. Ces écoulements plus rapides ne permettent alors pas le maintien de l'eau dans les sols sur une période suffisamment longue pour permettre la différenciation de sols vertiques. En conséquence, ce sont des sols bruns qui se sont mis en place (et continuent à se différencier) en ces lieux. La présence d'entaféro-brunichron est quant à elle liée à la position du relevé sur le versant : localisé à mi-pente, il apparaît comme normal que des figures d'entassement puissent exister à cet endroit. Le reste de la structure est assez classique : des tanolites (InVI) et des isaltérites (InV) dans l'infraplexion, une pellicule de dermilite (TXI) en surface et une jachère (UV et UVIII) dans le métaplexion supérieur.

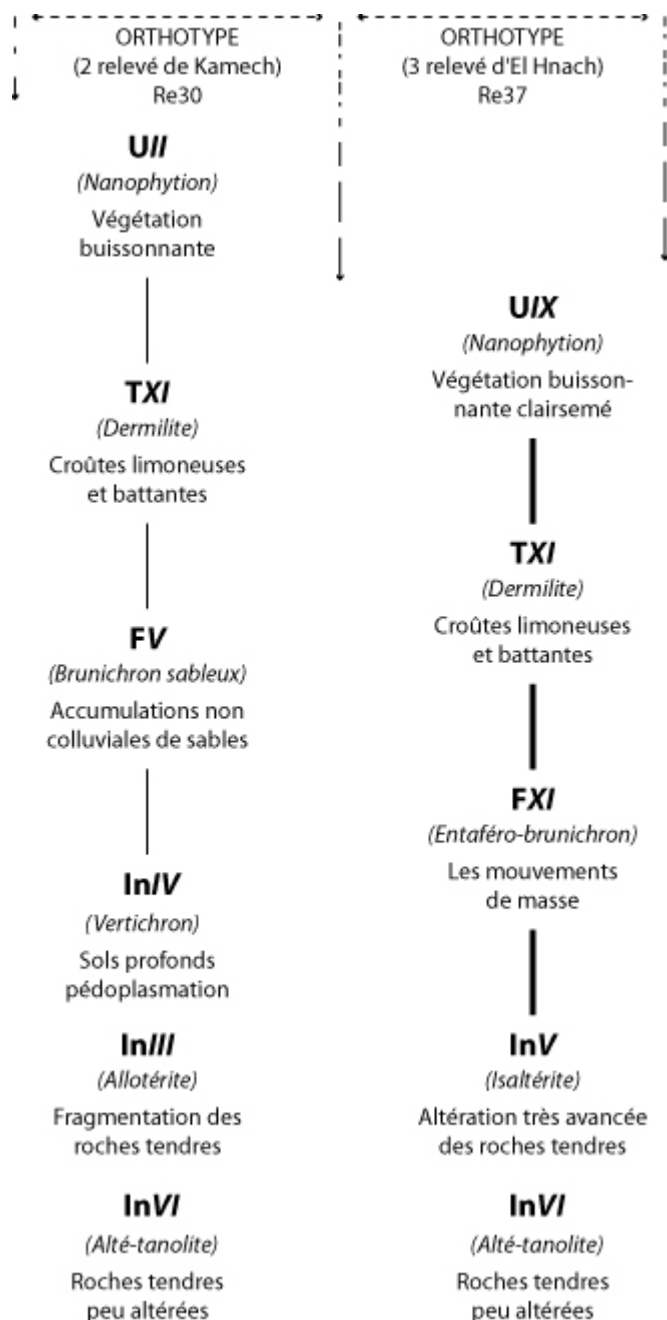
A ce jour, la majorité des géons et des géotopes ainsi que les états qu'ils peuvent rencontrer dans nos paysages sont caractérisés. L'analyse des types de milieux est donc pratiquement achevée. Toutefois, afin que celle-ci soit véritablement complète, il reste encore à prendre en compte deux dernières structures très particulières qui n'ont pas trouvé leur place dans le reste des organisations de la géosphère. Ces derniers agencements verticaux font donc l'objet du prochain point de ce chapitre.

VII.4.2.4 - Les types qui n'entrent pas dans les agencements verticaux décrits jusqu'alors...

Cinq relevés restent en dehors des autres structures définies jusqu'à présent. Les espaces qu'ils permettent de caractériser occupent des portions restreintes dans les paysages étudiés, mais les dynamiques auxquelles ils renvoient sont tout à fait singulières et méritent de ce fait de paraître dans un dernier modèle d'organisation vertical de la géosphère.

Le premier orthotype qui apparaît dans ce dernier modèle rassemble deux relevés de Kamech (KAM Q2 R1 et KAM Q5 R4). Il permet ainsi d'achever la définition des types de milieux pour ce paysage. Le géon qui est identifié développe une succession verticale qui démarre dans l'infraplexion par une série assez commune de formes d'altération de la roche mère (InVI et InIII) ainsi que de traces de pédogenèse (InIV). Au niveau du métaplexion, les sols se caractérisent par des brunichrons (type rendzine) contenant une forte part de sables (FV). Ils se développent sur une épaisseur d'environ 30 centimètres en moyenne. La surface du sol

correspond à un dermilite pour le moins classique (*TXI*) et la végétation est celle des talus de Kamech (*UII*), ce qui est tout à fait logique car c'est dans ces espaces que se situent ces deux relevés.



Figures 7.11: Orthotypes rares permettant d'achever l'analyse des organisations verticales de la géosphère.

De par leur position dans le paysage et du fait des successions verticales qu'ils représentent, les deux relevés de cet orthotype rappellent nettement ceux dont il fut question dans le paragraphe VII.2.3 et qui correspondaient à des ensembles pardi-réductiques. Un élément diffère cependant : dans l'infraplexion, les traces de ce matériau n'existent pas. C'est d'ailleurs cela qui conduit à la différenciation de ce nouveau géon orthotype. L'explication des différences d'évolution entre ces deux structures, pourtant très proches au niveau de leur positionnement topographique et géologique, réside très probablement dans des temps de

stockage de l'eau variables. En effet si les milieux décrits comme pardi-réductique nécessitent la présence d'une nappe temporaire pour se différencier, les espaces mis en évidence ici ne nécessitent pas un temps de stockage très long. L'eau ne fait donc que passer par ces points, elle n'y est pas retenue. Lors de ce passage elle entraîne la dissolution des ciments calcaires liant les grains de sables des affleurements mais les particules fines issues de l'altération sont en grande partie lessivées. Celles qui restent en place se mêlent aux sables et sont progressivement transformées en sols. Notons pour finir que ces différences apparaissent très probablement du fait des différences structurales entre ces deux ensembles : les pseudogleys se forment sur le revers des affleurements tandis que les rendzines sableuses apparaissent sur leur front. Ce phénomène confirme alors une nouvelle fois l'impact des couches gréseuses sur le milieu naturel, notamment sur la circulation de ses flux.

Enfin, la dernière structure qui apparaît rassemble les trois derniers relevés d'El Hnach. Ceux-ci se succèdent le long de la troisième toposéquence et renvoient à des formations uniques liées à des mouvements de masse de grande ampleur le long du versant concerné. Les successions mises en évidence sur la figure 7.11 ne sont en fait guère différentes d'autres structures plus classiques. Du moins en ce qui concerne l'infraplexion et la partie qui se situe au dessus de la surface du sol. Dans le métaplexion inférieur en revanche le type *FXI*, qui ne se rencontre qu'ici, lie à la fois des éléments de roche de taille conséquente et des sols bruns colluviaux. Notons toutefois que ces sols ne sont pas uniquement liés à des mouvements hydriques le long des versants, mais résultent en grande partie des remaniements brutaux subits lorsque le bloc s'est déplacé dans son intégralité. Ils n'ont d'ailleurs pas subi de lessivage comme c'est le cas de la majorité des sols colluviaux. Malheureusement, nous ne pouvons pas véritablement connaître l'origine de ces mouvements de masse. Il est probable que la conjoncture entre les formes du relief, la nature du substrat géologique, celle des sols en place avant les événements qui ont conduit à cette structure ainsi que les cheminements de l'eau (et un probable stockage de cette dernière) soient responsables de cette dynamique particulière.

CONCLUSION.

Après avoir réalisé quelques rappels et précisé les règles que nous nous sommes fixés pour définir les modèles de successions verticales de la géosphère, le chapitre qui s'achève ici s'attache à expliquer et à analyser les organisations rencontrées dans nos trois paysages et les dynamiques hydriques qu'elles imposent dans le milieu naturel. Les modèles proposés permettent de caractériser, d'analyser, puis de comparer les types de successions verticales au travers des trois grands types de milieux identifiés à la fin des traitements numériques.

Les organisations verticales dans les milieux régoliques (10 % des observations réalisées sur le terrain) sont traitées en premier. Les distinctions que l'on peut réaliser sur ces dernières, essentiellement basées sur des différences de profondeur, de structure géologique (alternances avec des tanolites, pendages...) ou encore de niveaux d'altération de la roche mère, permettent la mise en évidence de 5 géons (pouvant être déclinés en 4 géotopes et états différents).

Dans un second temps, ce sont les milieux kéritiques qui sont détaillés et analysés. Ces derniers, nettement plus conséquents en terme d'occupation de l'espace (29 % de l'ensemble des relevés de terrain) s'énoncent en trois grandes orientations en fonction de la nature des croûtes rencontrées. Chaque type de croûte renvoie d'ailleurs à des dynamiques hydriques différentes. Apparaissent ainsi les encroûtements crayeux, pour lesquels un géon, deux géotopes et un état du géon sont mis en évidence ; viennent ensuite les croûtes calcaires altérées (anciennement croûtes résistantes), qui se caractérise suivant un géon dans deux états différents et un géotope majoritaire dans l'espace ; et enfin les milieux kéritiques plus complexes associant des croûtes de natures différentes dans les successions verticales qu'ils

CHAPITRE VIII

SEGMENTS DE PAYSAGES ET INTERPRETATIONS HYDRODYNAMIQUES

INTRODUCTION

Nous voici enfin arrivés au dernier chapitre de cette thèse, celui qui permet la mise en œuvre des segments de paysages, des interprétations dynamiques qu'ils autorisent et finalement celui qui voit l'achèvement de ces quatre années de travaux, de recherches... L'objectif à atteindre désormais est le couplage entre les enceintes topographiques et les systèmes de pente qu'elles mettent en évidence (définies dans le quatrième chapitre) et les modèles d'organisations verticales de la géosphère (établis au chapitre précédent) permettant la connaissance des agencements les plus typiques du milieu naturel ainsi que de nombreuses interprétations sur ses dynamiques. Ce dernier chapitre aborde donc la question de la synthèse paysagère et la caractérisation des paysages étudiés. Malheureusement, comme cela est signalé au début de ce rapport, le temps qui nous est imparti pour remettre cette thèse ne nous permet d'analyser les segments de paysages que pour un seul des trois bassins versants : seul le paysage de Kamech fait l'objet d'un découpage en segments de paysages et apparaît par conséquent dans ce dernier chapitre.

Trois étapes sont nécessaires à la présentation des segments de paysages dans ce bassin versant. La première présente les aspects méthodologiques généraux, notamment la démarche relative au couplage entre les facettes topographiques et leurs contenus mésologiques. En outre cette première étape fait également référence à la théorie du cheminement de l'eau dans les géons et dans les segments de paysages.

Au cours de la seconde étape, les modèles d'organisation spatiale annoncés en début de thèse sont définis. Leur analyse se déroule en deux temps :

- En premier lieu les segments sont déterminés le long des toposéquences sur lesquelles s'appuient les analyses menées jusqu'à présent. En d'autres termes cela consiste à coupler les facettes topographiques et les types de géons pour faire apparaître les principaux traits organisationnels et dynamiques du paysage de Kamech.
- En second lieu une analyse du cheminement de l'eau dans les segments de paysages est proposée. Elle s'appuie sur la segmentation du paysage réalisée le long des profils formulés précédemment et tente de donner un aperçu des mouvements verticaux et latéraux de l'eau dans la géosphère.

Enfin dans la troisième et dernière étape du chapitre, les résultats fournis le long des toposéquences sont extrapolés pour être généralisés à l'ensemble du paysage. Il sont alors présentés sous la forme d'une cartographie intégrée dont la lecture directe permet de connaître les caractères organisationnels de ce paysage mais aussi d'en interpréter les dynamiques hydriques et érosives.

VIII.1 - DEMARCHE ET PRINCIPES GENERAUX.

Le premier paragraphe est réalisé dans le but d'amener deux précisions méthodologiques. La première, plus technique, décrit les étapes et les éléments à prendre en considération pour coupler les types d'enclaves topographiques et les types d'organisations verticales de la géosphère. La seconde est plus théorique car elle fixe les règles générales régissant la circulation de l'eau dans les géons qu'elle tend à présenter en terme de systèmes complexes.

VIII.1.1 - Notes sur la segmentation du paysage et les méthodes de spatialisation.

La démarche suivie pour l'élaboration des segments de paysages (figure 8.1) s'inscrit dans le prolongement des traitements réalisés dans la deuxième partie du rapport. Elle se base d'ailleurs sur les résultats de toutes ces analyses et en permet la synthèse ainsi que la cartographie. Toutefois, contrairement à la typologie des facettes topographiques, à celle des enveloppes de la géosphère ou encore à celle des états du milieu naturel, cette dernière étape de traitements ne fait plus intervenir les statistiques pour différencier les segments de paysages. La spatialisation des analyses et la cartographie des segments de paysages qui en résulte reposent en fait sur deux étapes successives au cours desquelles tous les types précédents, qu'il s'agisse des facettes topographiques ou des modèles verticaux de la géosphère, interviennent.

Dans un premier temps, les segments de paysages sont définis le long des toposéquences qui ont permis la différenciation des relevés de terrain et, par là même, la définition et la caractérisation des géons et des géotopes rencontrés.

Chaque relevé de milieu observé sur le terrain, dont la position est connue sur le profil topographique (axe de la toposéquence) est rattaché au type d'organisation dans lequel il s'inscrit et qu'il définit pleinement ou partiellement. Procédant de cette manière, il est alors possible, d'une part, de localiser précisément chaque géon ou géotope déterminé statistiquement et, d'autre part, de connaître ses extensions latérales. En effet pour chaque toposéquence, l'espace couvert par un relevé donné (et donc chaque géon ou géotope... bien que nombre d'entre eux s'établissent sur plusieurs relevés) est défini au cours du *suivi des hoplexols* réalisé sur le terrain. La place précise de chaque *géon naturel* ainsi que *l'espace* qu'il occupe le long de la séquence paysagique (et aussi de part et d'autre de cette dernière) sont donc connus. En remplaçant les relevés de milieu (observations brutes) par les types d'organisation auxquels ils renvoient, il est alors possible de définir les portions d'espace dans lesquels ces modèles apparaissent et donc de connaître leurs extensions latérales propres. En outre au cours de cette étape, les relevés de milieu *les plus proches statistiquement* sont rassemblés en fonction des types auxquels ils appartiennent, ce qui permet d'augmenter significativement le niveau de synthèse.

A la fin de cette première étape la spatialisation n'est pas encore réalisée, mais il est d'ores et déjà possible de comprendre les interactions entre la topographie et l'organisation verticale de la géosphère : chaque toposéquence, considérée comme un profil topographique, permet la mise en relation des types de facettes topographiques et des types de géons. Les séquences paysagiques sont alors reformulées : les hoplexols originaux disparaissent de la représentation et sont remplacés par les segments de paysages qui s'étendent latéralement dans les limites imposées par les contraintes du relief et verticalement dans celles définies entre l'acropause et

la catapause. Les analyses des dynamiques hydriques que les segments permettent peuvent également prendre forme à la fin de cette première étape.

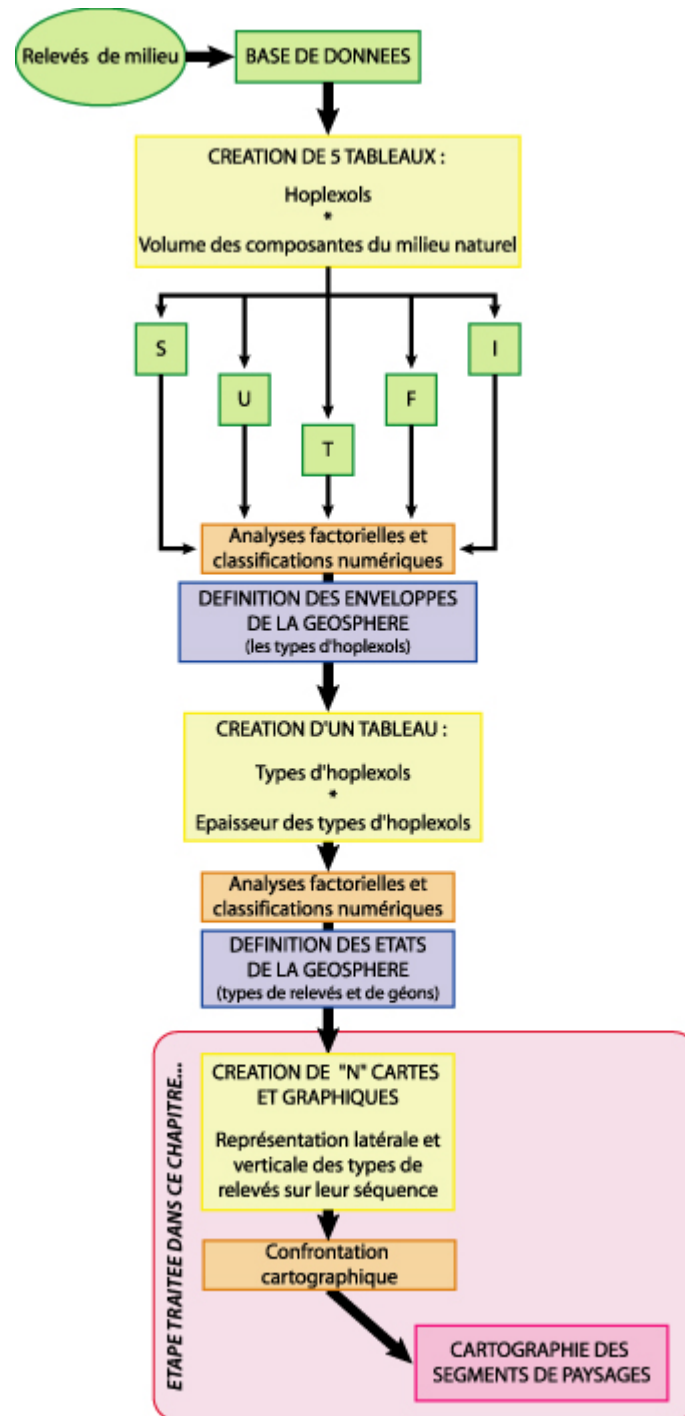


Figure 8.1 : La chaîne des traitements suivie pour l'établissement des types de géons... et des segments de paysages (dernière étape !).

Légende : en vert, les données brutes (et leur mise en forme dans la base de données) ; en jaune, les mises en formes nécessaires aux traitements ; en rouge, les traitements numériques ou cartographiques réalisés ; en bleu, les résultats intermédiaires ; en rose, le résultat final. Source : d'après Ndiaye (1995), modèle *simplifié* par Morschel (2006).

Il est important de noter que tout ceci se fait par lecture directe et par une analyse au cas par cas des graphiques et figures représentant chaque toposéquence. Ainsi un même modèle

d'organisation verticale peut permettre la définition de deux (ou plusieurs) segments différents et par là même renvoyer à préciser certaines dynamiques du milieu naturel. Ce cas est cependant extrêmement rare et fort heureusement car cela indiquerait qu'il n'existe pas vraiment de relation entre les systèmes de pentes rencontrés et les organisations verticales qui y prennent place, ce qui rendrait impossible la suite des traitements !

La seconde étape permet de réaliser l'extrapolation et le passage du stade linéaire au stade spatial. A ce titre, elle fait intervenir la typologie et la cartographie des types de facettes topographiques. Dans ce cas encore aucun calcul n'intervient : la spatialisation des segments définis au cours de la première étape est réalisée manuellement en s'appuyant sur une règle simple qui veut qu'un *système de pente* donné corresponde à un ou quelques *types d'organisations* (les types peuvent varier par exemple de l'amont vers l'aval dans le cas de facettes topographiques de grande taille). Les organisations internes des segments de paysages peuvent d'ailleurs être très complexes et faire intervenir plusieurs géons et géotopes dans leur définition : rien n'interdit d'avoir des structures verticales, très différentes les unes des autres, dans un même segment de paysage.

La cartographie des segments de paysages naît alors de la confrontation entre les cartes des types de facettes topographiques et les informations tirées de la première étape de l'analyse : les toposéquences ayant été choisies au départ comme étant les plus représentatives possibles des paysages concernés, la mise en place directe des segments de paysages à partir de ces dernières n'introduit pas d'erreurs graves ou de lourds contresens dans l'analyse du milieu naturel. Une fois cette étape cartographique réalisée, chaque point d'un espace donné est alors caractérisé dans un modèle spatial synthétique qui permet de percevoir, de comprendre et d'expliquer son organisation et ses dynamiques. Les modèles spatiaux d'organisation de la géosphère produits de cette manière entrent ainsi pleinement dans la définition proposée au début de cette thèse : « une facette topographique à laquelle est associé un contenu mésologique ».

En revanche et malheureusement, en l'état actuel des choses, il ne sera pas possible de valider ces modèles. Nous ne disposons pas des données nécessaires pour le faire car il aurait fallu, dès le départ (ou à l'arrivée), déterminer des séquences de contrôle et les exclure des traitements afin de pouvoir les comparer avec le modèle établi. Nous devons en rester sur cette note et nous contenter de ces modèles spatiaux non validés pour les analyses futures qui pourront être mises en place au sein de ces paysages... En dépit de ce problème, il est tout de même envisageable de compléter l'analyse des dynamiques du milieu naturel et de proposer des cartes de sensibilité au ruissellement et à l'érosion ou encore de déterminer les espaces aménageables, ceux qu'il faudrait aménager en s'appuyant sur ces modèles car le risque d'erreur est à priori minime (Ces cartes ne sont toutefois pas produites, faute de temps, dans le cadre de cette thèse).

VIII.1.2 - Les paysages et l'eau : considérations théoriques sur l'hydrodynamique des géons et des segments de paysage....

Avant de passer à la segmentation des paysages dans les bassins versants sur lesquels s'appuie cette étude, il convient d'apporter quelques précisions théoriques concernant les cheminements de l'eau dans le milieu naturel. C'est en effet à partir de ces éléments de réflexions que les comportements hydrodynamiques dans nos segments de paysages sont estimés. Il paraît alors normal de se positionner d'un point de vue épistémologique avant d'entamer l'étape ultime de ce travail. Comme pour toute l'analyse du milieu naturel menée jusqu'à présent, cette réflexion s'élabore du particulier pour aller vers le général car il nous

semble logique de chercher à comprendre ce qui intervient au niveau élémentaire avant de passer à un niveau plus général et intégrateur.

Un géon (ou un géotope) peut être assimilé à un système ouvert, plus ou moins complexe en fonction du milieu qu'il décrit, organisé par une succession verticale de sous-systèmes élémentaires à l'intérieur desquelles transitent des flux (eau et énergie) qui alimentent les processus biochimiques responsables de procédés de production et de transformation de la matière (Riou, 1989). Si l'on se place du point de vue hydrodynamique (figure 8.2), ce système s'articule autour de deux axes :

- Un axe vertical : c'est le long de cet axe que se font les principaux apports en eau (la pluie et les pertes les plus importantes (évaporation). Cet axe est également le vecteur de nombreux changements dans la nature des flux (redistribution, division du flux...).
- Un axe horizontal, ou plutôt subhorizontal le long duquel se produit le ruissellement (et le drainage isoclinal). Cet axe permet en outre la connexion des géons par l'intermédiaire de leurs flux hydriques : le ruissellement produit sur un géon donné s'écoulant vers le géon directement en aval entraîne leur mise en relation. Selon le sens de la connexion, le ruissellement produit peut alors être considéré comme une perte ou un gain en eau.

Considérons dans un premier lieu les cheminements verticaux de l'eau dans le géon (figure 8.2). En schématisant, il apparaît de manière assez nette que les principaux changements que subissent les flux hydriques ont lieu au sein de chacun des hoplexions qui composent le géon. Ces modifications se réalisent de manière variable en fonction des composantes de la géosphère rencontrées dans ces derniers mais elles suivent globalement toujours le même modèle.

Commençons donc par analyser ce qu'il survient lorsque le filet d'eau entre dans la géosphère (l'analyse se déroule donc du haut vers le bas... le chemin de retour vers l'atmosphère n'est pas abordé dans cette thèse). Celui-ci rencontre en premier lieu les éléments du supraplexion (lorsqu'ils existent). Au sein de cet ensemble, le filet d'eau précipité va connaître un premier changement : une première fraction de l'eau est interceptée par les feuillages, elle y est stockée temporairement (mais sera rapidement évaporée), une seconde fraction de ce filet d'eau va être redistribuée, le long des branches et des troncs d'une part ainsi que par égouttage d'autre part, selon la verticale et peut poursuivre son parcours dans le milieu et enfin une dernière fraction va transiter directement sans être modifiée. A la sortie du supraplexion, le flux d'origine est alors divisé en plusieurs flux secondaires de vitesse et d'intensité différentes. En continuant son parcours dans le milieu, le filet d'eau entre dans le métaplexion supérieur. A ce niveau les changements qu'il subit sont à peu près identiques à ceux qui surviennent dans le supraplexion, à une différence près : les systèmes de transit et d'interface sont confondus en une seule et même entité. En effet il n'est pas rare de voir, dans le supraplexion, une nette séparation entre les troncs et les feuillages, chose qui n'existe pas dans le métaplexion supérieur. En tout état de cause, le filet d'eau originel et les filets d'eau dérivés subissent une nouvelle interception et une nouvelle redistribution, mais elle va continuer, sans véritable changement (si ce n'est d'intensité), son cheminement vertical dans le milieu. Jusqu'à présent, le moteur permettant à ces flux de suivre leur chemin au travers de la géosphère est la gravité.

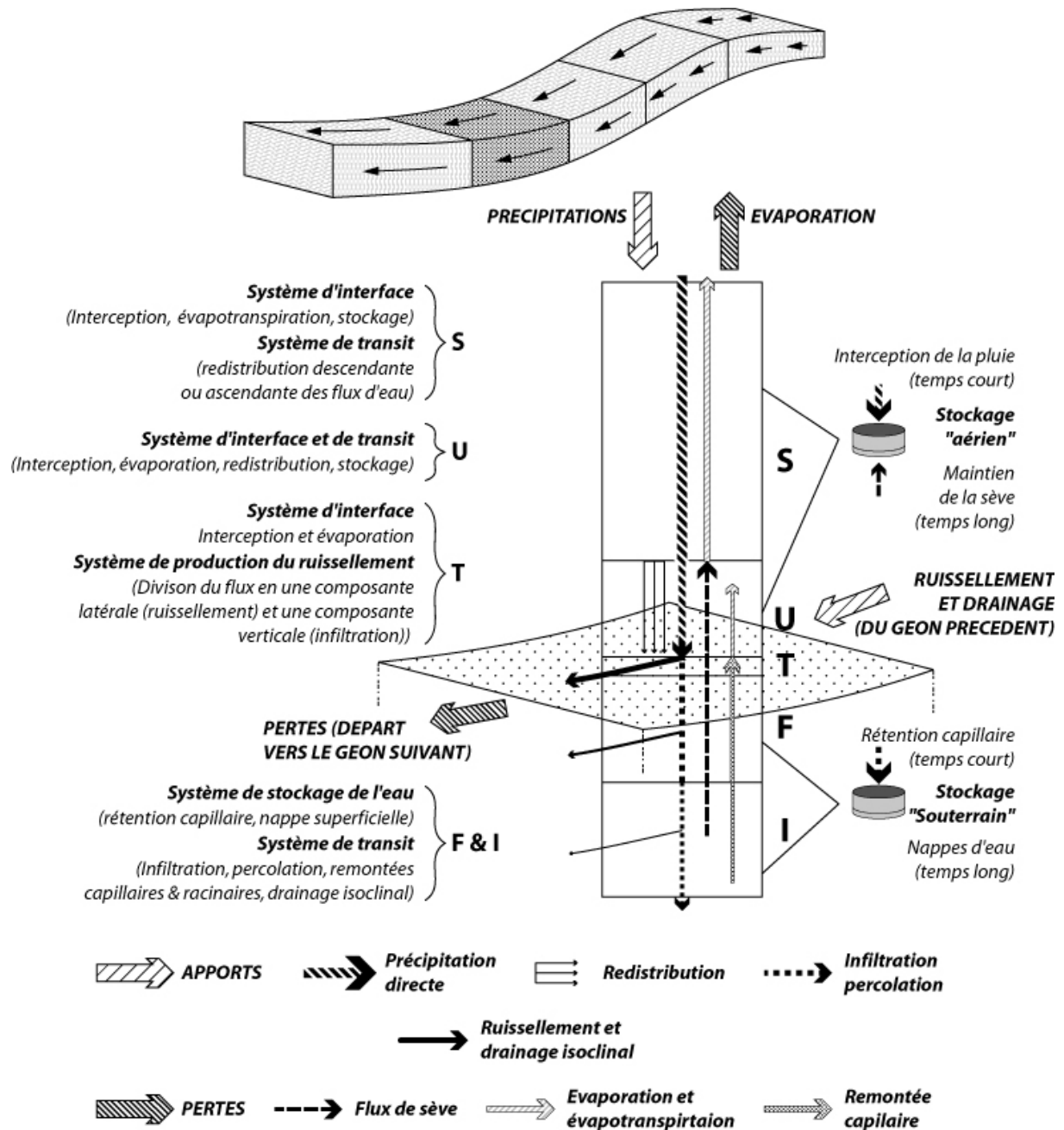


Figure 8.2 : Essais de représentation systémique du cheminement de l'eau dans les géons et dans les segments de paysages.

Le premier schéma montre le géon (ou le segment de paysage) et leurs interactions latérales dans le versant, le second présente le détail des circulations internes au géon (ou au segment de paysage). Le modèle présenté tente de montrer les principaux changements que subit le flux hydrique dans un géon. Il s'agit d'un modèle de système ouvert, bénéficiant de deux entrées (les pluies et les apports du ruissellement allochtone) et deux sorties (l'évaporation et le ruissellement vers le géon suivant). Il est possible de remarquer, grâce à ce modèle, que la composante verticale (ascendante comme descendante) est largement dominante par rapport à la composante latérale. Cette dernière est d'ailleurs le résultat des impacts des organisations de la géosphère rencontrées par le flux hydrique lors de son cheminement vertical dans le milieu. Cette figure est établie d'après les travaux de Riou (1989), mais propose une version simplifiée et adaptée à l'hydrodynamique du milieu naturel.

Lorsqu'elle entre dans le métaplexion strict en revanche, elle va subir une modification radicale : le flux jusqu'à présent orienté selon la verticale va se diviser. Une partie va s'infiltrer dans le sol tandis qu'une partie va ruisseler en surface. Il convient de s'attarder un peu plus

longuement pour expliquer ce phénomène. En effet, l'eau qui se trouve à la surface du sol va toujours tendre à pénétrer dans le sol par infiltration (Ambroise, 1998) et donc à suivre son cheminement vertical dans le milieu. Ce phénomène fait donc toujours intervenir la gravité comme moteur du phénomène. Il faut toutefois lui ajouter, lorsque le sol n'est pas saturé, le gradient de potentiel matriciel (Philip, 1969 - in. Ambroise, 1989). Mais à mesure que l'eau s'infiltre dans les sols, l'infiltrabilité de ces derniers tend à diminuer significativement. Ainsi au fil du processus, la capacité d'infiltration décroît en effet depuis une valeur initiale, dépendante de l'état hydrique de la surface (et donc très élevée lorsque la surface est sèche), vers une valeur proche de sa conductivité hydraulique en conditions saturées.

De cette décroissance naît le ruissellement : dès lors que l'infiltrabilité de la surface du sol est inférieure à l'intensité de la pluie (Horton, 1945 - in. FAO, texte non daté), l'eau s'accumule en surface, d'abord sous la forme de petites flaques (liées à la structure et aux irrégularités de la surface du sol) puis sous la forme de filets ou de nappes, et s'écoule le long des versants. Ce phénomène peut s'établir sur des temps variables et est défini par de nombreux facteurs comme par exemple l'état initial de saturation du sol et de sa surface, l'intensité de la pluie ou encore les contraintes topographies. Mais il est évident que la nature du sol, notamment sa porosité, surtout de sa surface, sont des éléments déterminants dans le cheminement de l'eau dans le milieu car c'est en fonction de ces paramètres que le ruissellement (et les flux de matière qu'il induit) est défini. Les types d'états mis en évidence au cours des traitements typologiques devront être analysés dans ce sens puisqu'ils leur organisation détermine en grande partie les conditions de passage d'un cheminement vertical à un cheminement sub-horizontale.

Quoi qu'il en soit et même si les conditions pour le ruissellement sont atteintes, notre filet d'eau continue sa progression dans la profondeur du milieu. Comme le rappelle Riou (1989), l'eau infiltrée se déplace dans les sols en fonction d'un gradient de potentiel : les migrations se font toujours d'un point de potentiel élevé vers un point de potentiel bas. Elle se déplace donc, en toute logique, de haut en bas suivant le *potentiel gravitationnel*. Mais elle peut aussi migrer dans toutes les directions en fonction du *potentiel matriciel* résultant du jeu des forces de capillarité et d'adsorption. Ainsi, lorsque le potentiel gravitationnel l'emporte, l'eau se déplace dans les sols de haut en bas, c'est le *drainage vertical* (ou *drainage isoclinal*) si la topographie impose une réorientation du flux dans le sens de la pente). Ces mouvements peuvent s'inverser : l'eau migre des zones plus humides vers la surface du sol lorsque le potentiel matriciel devient plus important que les forces gravitationnelles. Ces mouvements complexes et changeants sont souvent la cause de la mise en place de structures particulières, comme par exemple les croûtes calcaires d'El Hnach... En outre, Ambroise (1998) précise que le flux d'eau infiltré est à nouveau redistribué en une *rétenion hydrique*, permettant la recharge locale des sols (remplissage des pores), et une *percolation* qui permet de poursuivre son cheminement plus en profondeur. Cette percolation dure tant que la conductivité hydraulique des sols le permet. Ainsi au-delà d'une certaine profondeur ce processus peut être bloqué dans un hoplexol moins perméable, du fait d'une diminution de sa porosité (et de sa conductivité hydraulique), ou à la faveur d'une discontinuité structurale (de type sol / roche par exemple).

Enfin, lorsque le filet d'eau rencontre un hoplexol peu perméable, une accumulation peut se produire et conduire à la mise en place d'une nappe d'eau (dite *nappe superficielle*) plus ou moins persistante dans le temps (en fonction de la profondeur du milieu et des conditions de drainage locales). Ces nappes sont liées à la saturation des pores des hoplexols localisés directement au-dessus de l'hoplexol imperméable : elles résultent donc d'une accumulation par apport successif et absence d'évacuation. En outre ces nappes peuvent être mises en mouvement et connaître ainsi des déplacements latéraux vers l'aval des versants où elles se localisent. Ces mouvements conduisent par exemple au maintien de l'écoulement dans le réseau hydrographique même en période de fort déficit hydrique : lorsque le lit mineur

recoupe la surface piézométrique, la nappe se vide progressivement et permet le maintien d'un débit de base dans les cours d'eau (ce cas est tout de même exceptionnel en Tunisie : seul l'oued Medjerda semble bénéficier de ce type d'apport... c'est d'ailleurs le seul oued pérenne du pays).

Si l'on raisonne en terme spatial, (du bassin versant ou du paysage) ce n'est plus la caractérisation des cheminements verticaux dans le milieu qui nous intéressent, mais les successions latérales qui existent entre les différentes organisations et les flux qu'elles produisent. Il s'agit cette fois de raisonner au niveau des segments de paysages pour chercher à comprendre comment se font les transitions de l'un à l'autre et comment les flux produits dans l'unité amont se propagent dans l'unité aval. En outre, il s'avère également intéressant de déterminer les formes que prend le ruissellement de surface ainsi que ses impacts en terme de contribution au flux hydrique global d'une part et érosif d'autre part.

Toutefois, si les géons peuvent être traduits d'un point de vue hydrodynamique au travers des types d'organisations de la géosphère, et par là même être appliqués en plusieurs points de l'espace (et d'espaces différents), les successions latérales de segments de paysages et leurs impacts hydriques ne peuvent être analysés qu'au cas par cas... Il est bien rare en effet, du moins si l'on considère plusieurs paysages différents, de retrouver exactement les mêmes combinaisons de segments le long d'une toposéquence. La réflexion du cheminement des flux dans le paysage ne peut, de ce fait, faire l'objet d'une généralisation... Mais quoi qu'il en soit, la définition finale du segment de paysage doit obligatoirement faire figurer ses caractéristiques hydriques et dynamiques. En cela la synthèse paysagère tache de les mettre en évidence lors de la segmentation des paysages, si bien qu'au final le modèle de cheminement des flux dans le milieu naturel est presque autant un outil permettant à son élaboration qu'un résultat concret et *opérationnel*...

Le premier paragraphe de ce chapitre présente les deux éléments essentiels à l'analyse : d'une part il fixe les règles de la méthode à suivre pour réaliser la segmentation des paysages et d'autre part il donne les principes élémentaires du cheminement vertical puis latéral de l'eau dans le milieu naturel. La suite de ce chapitre, articulée en deux étapes, montre donc les résultats obtenus à partir des principes énoncés ici pour le bassin versant de Kamech : celui-ci est défini en fonction de ses segments de paysages qui s'y inscrivent (en coupe et de manière cartographique) puis les cheminements des flux hydriques sont déduits des unités déterminées.

VIII.2 - TOPOSEQUENCES, GEONS ET SEGMENTS DE PAYSAGES A KAMECH...

C'est au travers de deux points que cette analyse se déroule : chaque rive est présentée *indépendamment* de l'autre. Les analyses reposent sur plusieurs figures assez complexes qui permettent, d'une part, de fournir une vision spatiale (latérale) des géons et des géotopes ainsi que des dynamiques globales dans lesquelles ils s'inscrivent et, d'autre part, de proposer le découpage en segments. Celui-ci s'appuie sur les analyses des deux premières figures. De cette manière, les segments déterminés sont le reflet à la fois de la structure topographique dans lequel ils s'inscrivent, du contenu mésologique de ces enceintes topographiques et des dynamiques conditionnées par ce couple topographie /mésologie (géons).

VIII.2.1 - Les séquences paysagères de la rive droite.

La rive droite du paysage de Kamech est décrite par deux toposéquences (figure 8.3) : la première (KAM Q1) se positionne à l'amont des versants et assure ainsi une couverture depuis la limite du topographique du paysage jusqu'à un petit thalweg cataclinal. Son organisation verticale est déterminée par huit relevés qui s'inscrivent dans deux types de facettes (type 2 et type 5). La seconde toposéquence couvre la partie aval de ce secteur du paysage. A ce titre, elle permet de caractériser les facettes topographiques de type 5. Pour réaliser l'analyse en restant le plus proche possible de la réalité, cette séquence est en fait double : inscrites au sein d'un ensemble de collines (les facettes de type 5), ces deux toposéquences permettent la caractérisation du milieu en amont (KAM Q4) et en aval (KAM Q4') de ces dernières. Leur analyse est cependant réalisée conjointement.



Figure 8.3 : localisation des toposéquences et emplacement des relevés pour le paysage de Kamech.

La première toposéquence (figure 8.4) traverse deux ensembles topographiques bien distincts. Les dynamiques qui s'y inscrivent sont d'ailleurs très différentes. En premier lieu, donc tout à l'amont, apparaît un long versant sub-rectiligne d'environ 250 mètres de longueur. Peu de contrastes topographiques se détachent de cet ensemble : le seul point de divergence correspond au *sommet* qui se matérialise par un petit talus peu escarpé et d'une longueur d'environ 5 mètres. Malgré son faible développement, ce talus est d'une importance remarquable : c'est lui qui assure la limite du bassin versant.

Au sein de ce premier ensemble, deux géons globalement similaires du point de vue de leurs agencements verticaux prennent place. Le premier est défini par l'orthotype "Re33 & Re34" (vertichron) et le second par une organisation de type "Re25 & Re39". A ce titre, la structure qu'il développe se définit autour d'un sol vertique colluvial (pour les renvois aux orthotypes,

variantes et intergrades, il convient de se reporter au chapitre précédent qui a permis leur définition). En outre, une variante majeure associée au premier géon et deux états distincts du second géon apparaissent.

Les deux unités paysagiques qui se partagent cet espace renvoient à des dynamiques de mise en place nettement différentes : celle plus en amont, ne pouvant bénéficier d'apports colluviaux, se forme de manière autonome tandis que la seconde profite en grande partie des migrations de sols le long du versant pour se construire. Mais en tout état de causes, les deux ensembles connaissent à l'heure actuelle des processus de pédogenèse qui aident au maintien de la structure.

Ainsi, il est possible d'identifier deux dynamiques différentes : la première est plutôt érosive, bien que les phénomènes d'ablation des sols ne semblent pas l'affecter outre mesure. La seconde est trans-accumulative. Ce caractère original est dû, à priori, à deux raisons : tout d'abord, sa position sur le versant lui permet de recueillir des sédiments, d'autant plus que directement en aval de cette unité se trouve un affleurement de grès qui joue très certainement, de par sa position *dominante* dans le paysage, un rôle sur la stabilisation du versant (par accumulation des sédiments depuis l'aval et en remontant la pente). Mais la structure considérée ici conserve également un caractère transitif car elle ne se localise pas dans un point bas du relief. La pente qu'accuse l'ensemble (14 % en moyenne) n'est pas non plus négligeable. De ce fait selon l'intensité de l'épisode érosif, les sols maintenus dans cet ensemble risquent de reprendre leur cheminement vers les oueds et les structures plus en aval. Les différences constatées au sein de premier versant permettent ainsi la distinction de trois segments de paysages (pour la nomenclature des segments de paysages, il faut se reporter au tableau 3.2 - chapitre III, paragraphe 3.2.2). Le premier correspond à un **acro-métaèdre** c'est-à-dire à un segment de sommet qui présente tout de même des caractéristiques organisationnelles et dynamiques proches de celle d'un simple versant : ses faibles pentes, l'épaisseur de ses sols ainsi que sa dynamique faiblement érosive tendant à le rapprocher du métaèdre qui lui succède en aval. Le second segment rencontré correspond à un **métaèdre supérieur**, c'est-à-dire à la partie amont d'un long versant qui affiche une dynamique plutôt érosive, mais sur laquelle les migrations de sédiments se font de manière assez lente du fait des faibles pentes et, dans ce cas, de la végétation même si celle-ci (d'origine anthropique) laisse les sols nus pendant certaines périodes de l'année. Enfin le troisième segment correspond à un **métaèdre inférieur**. Il renvoie à des dynamiques plus accumulatives. Ces trois segments de paysages sont les seuls à caractériser ce premier type de facettes topographiques. La simplicité de leurs successions latérales (disposés en bandes parallèles) facilite d'ailleurs la représentation cartographique finale.

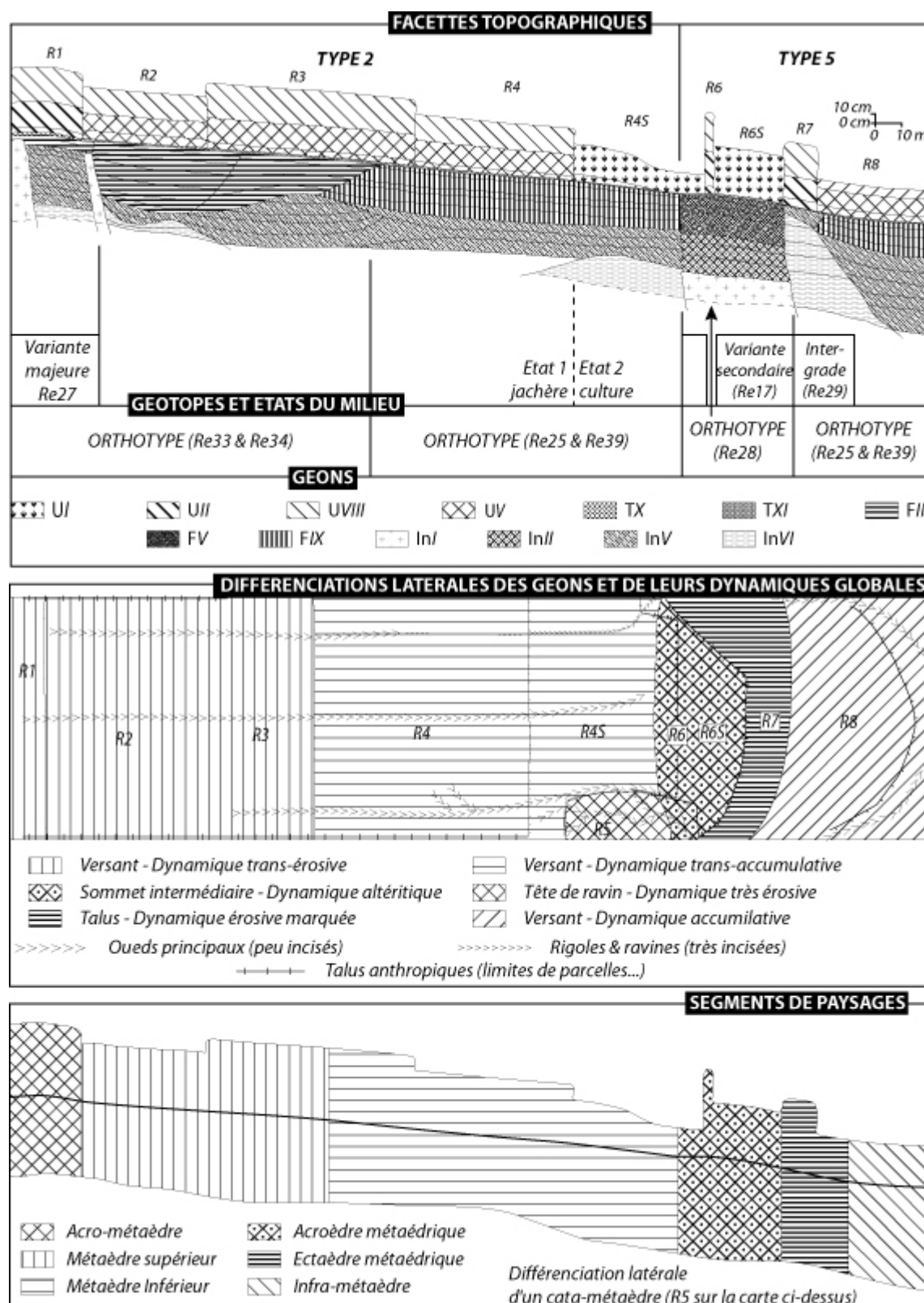


Figure 8.4 - Géons, géotopes et segments de paysages le long de la première toposéquence de Kamech.

En progressant vers l'aval de cette première toposéquence, on rencontre une seconde série de structures, plus contrastées du point de vue organisationnel et dynamique, elles se succèdent également plus rapidement. Ces structures s'établissent sur une terminaison de collines (bien que ladite colline soit, dans ce cas, relativement courte) qui correspond à un second ensemble

topographique : les organisations inscrites dans cet ensemble permettent de caractériser, au moins pour partie, les facettes topographiques de type 5.

La topographie de l'ensemble peut être détaillée en trois entités distinctes : la première correspond à un sommet intermédiaire qui prend place sur un affleurement de grès de dimensions assez conséquentes. La seconde s'apparente à un talus marqué par une pente assez forte de profil convexo-concave. Le couple "sommet / talus" représente la colline en question. Enfin, à la suite de cet ensemble apparaît un nouveau versant régulier et relativement court : il se termine rapidement et laisse place au lit mineur d'un oued s'écoulant vers le sud-est.

Deux géons se partagent cet espace. Le premier est décrit par la structure rattachée au relevé médian Re28, dont il représente l'orthotype. Les dynamiques très particulières de ce géon ont déjà été largement analysées dans les chapitres précédents : il s'agit des dynamiques d'altération des grès qui conduisent à l'établissement d'un pseudogley. Celles-ci ne seront pas reprises dans le détail ici, mais à la vue de la structure topographique, il est aisé de comprendre comment ce géon s'est différencié : les apports d'eau depuis l'amont (drainage isoclinal et ruissellement) s'expliquent facilement à la vue de la dimension de l'impluvium. Son maintien et son accumulation sous forme d'une nappe superficielle se justifient à la fois par la discontinuité structurale imposée par le banc de grès imperméable et par une petite cuvette placée juste à l'amont de ce dernier et pouvant fonctionner tel un endoréisme si les pluies ne permettent pas un ruissellement suffisant.

Le second géon apparaît avec la rupture topographique qui suit l'affleurement de grès. Ce talus en forte pente est soumis, comme le montre le faible développement des sols, à une importante activité érosive, et ce en dépit d'une végétation dense et pérenne. De part sa dynamique, ce talus s'oppose au versant qui lui succède en aval. En effet, malgré le fait que ces deux structures appartiennent théoriquement au même géon (le talus étant un intergrade de ce dernier), la facette de versant affiche une dynamique franchement accumulative. En outre, la profondeur de ses sols facilitent le maintien de l'eau dans cet ensemble et favorise les processus de transformation de la roche mère. La profondeur du milieu en ce lieu est d'ailleurs la plus importante de toute cette séquence.

Ce sont donc ici trois segments de paysages qui se succèdent : au sommet de la butte apparaît ainsi un **acroèdre métaédrique** (correspondant à un sommet secondaire au milieu d'un ensemble métaédrique) affecté de dynamiques altéritiques très particulières et très prononcées. Le second s'apparente à un segment de raccord entre deux métaèdres. **L'ectaèdre métaédrique** ainsi défini se voit affecté par une dynamique érosive très intense. Enfin, le troisième et dernier segment de cette toposéquence correspond cette fois à un **infra-métaèdre**, c'est-à-dire à un bas fond, pouvant s'apparenter à un versant (absence de ruissellement concentré...) affecté de fortes dynamiques accumulatives du fait de sa position basse dans le paysage. En outre, il convient de différencier également deux segments supplémentaires : des **infraèdres** correspondant aux lits mineurs de l'oued. Ce segment est disposé de part et d'autre de l'infra-métaèdre et affiche également une dynamique accumulative, à cela près que cette fois le ruissellement concentré existe bel et bien dans cette structure. Et enfin, un **cata-métaèdre** (tête de ravin), de dynamique très érosive prend également place dans cet ensemble.

La première toposéquence permet ainsi la définition de huit segments de paysages.

L'analyse de la seconde toposéquence (figure 8.5 et 8.6) s'appuie sur deux profils topographiques réalisés dans le cinquième type de facettes topographiques. La structure du relief, correspondant à une succession de collines orientées perpendiculairement à la première toposéquence, impose le recours à ce doublement lors de la collecte d'informations. Ainsi, la première toposéquence (KAM Q4) passe par l'amont de ces reliefs et la seconde (KAM Q4') les caractérise en aval. En outre, le suivi des hoplexols réalisé habituellement dans l'axe de la

séquence effectuée dans ce cas de manière à comprendre ce qui survient entre les deux lignes de relevés. Il est ainsi possible de produire une carte des géons commune aux deux ensembles et donc de caractériser le plus précisément possible l'ensemble de l'espace.

Au départ de KAM Q4 se trouve un talus qui s'aligne sur le talus terminant la séquence KAM Q1. Il affiche cependant une structure assez différente à l'intérieur de laquelle les dynamiques d'altération et de transformation de la roche sont très marquées. Ces différences résident dans le fait que les pentes présentent des inclinaisons fortes dans un cas et plus faibles dans l'autre. Ce talus se retrouve également à KAM Q4' montrant ainsi un prolongement commun aux deux séquences.

Succédant à cette première structure, se développe un versant rectiligne correspondant à une ligne de crête. Cette entité topographique d'une centaine de mètres de long, pour une inclinaison d'environ 16 % se voit décrite par deux géons qui renvoient à des dynamiques fondamentalement opposées (figure 8.6). Ainsi dans la section amont, le géon défini par une organisation verticale de type Re18 (variante importante du géon orthotype "Re33 & Re34"), connaît une importante activité érosive qui tend à limiter fortement l'épaisseur des sols et à faire affleurer le tanolite à proximité de la surface. La présence d'un intense réseau de rigoles incisant les sols et les formations géologiques superficielles laisse présager l'évolution rapide de l'ensemble vers un bad lands. Le second géon qui prend place dans cet ensemble présente une dynamique fondamentalement opposée. Ce géon défini dans le cadre de l'orthotype "Re25 & Re39", présente une organisation et une dynamique liée à l'accumulation des sédiments ainsi qu'à la transformation de la roche en sol. Le milieu est nettement plus profond que dans le géon précédent.

Arrivé à la moitié de cette toposéquence, le système de pente change de manière radicale : une série d'affleurements gréseux alternant rapidement avec des marnes structure le relief de manière à former une succession de talus. Ces talus marquent la fin de la colline et contribuent à réorienter le flux d'eau vers l'oued principal. Les écoulements orientés vers le sud-ouest, en direction de Q4', ou vers le nord-est sur les flancs de la colline reprennent leur orientation *normale* en direction du sud-est. Les deux systèmes hydriques ne sont pas connectés entre eux : la contrepente imposée par l'affleurement gréseux empêche tout lien direct entre l'amont et l'aval le long de l'axe Q4.

La structure géologique qui crée cette structure topographique est également responsable de la différenciation de plusieurs géons et géotopes qui se succèdent rapidement : lorsqu'ils se développent sur les grès, ceux-ci sont plus profonds et affichent une nette tendance à l'accumulation des sédiments, alors que ceux apparaissant sur marnes correspondent plutôt à des secteurs de forte érosion. Ce phénomène est très nettement influencé par la végétation qui se développe sur ces géons. En effet, les géons sur grès présentent une végétation buissonnante dense et pérenne qui permet la rétention des sédiments tandis que les géons sur marnes, exploités par l'homme, ne sont efficacement protégés que sur une partie de l'année.

Enfin à l'aval de ce talus, un nouveau versant apparaît. Orienté vers le sud-est et directement en contact avec l'oued, il correspond à la partie terminale de la rive droite du paysage de Kamech. Le géon qui s'inscrit dans cette unité topographique affiche une dynamique accumulative : des sols riches et profonds occupent ce géon. A priori capables de maintenir une quantité importante d'eau, ces sols se prolongent par un épais front d'altération et de pédoplasation. La roche mère n'est d'ailleurs jamais observée dans cette entité.

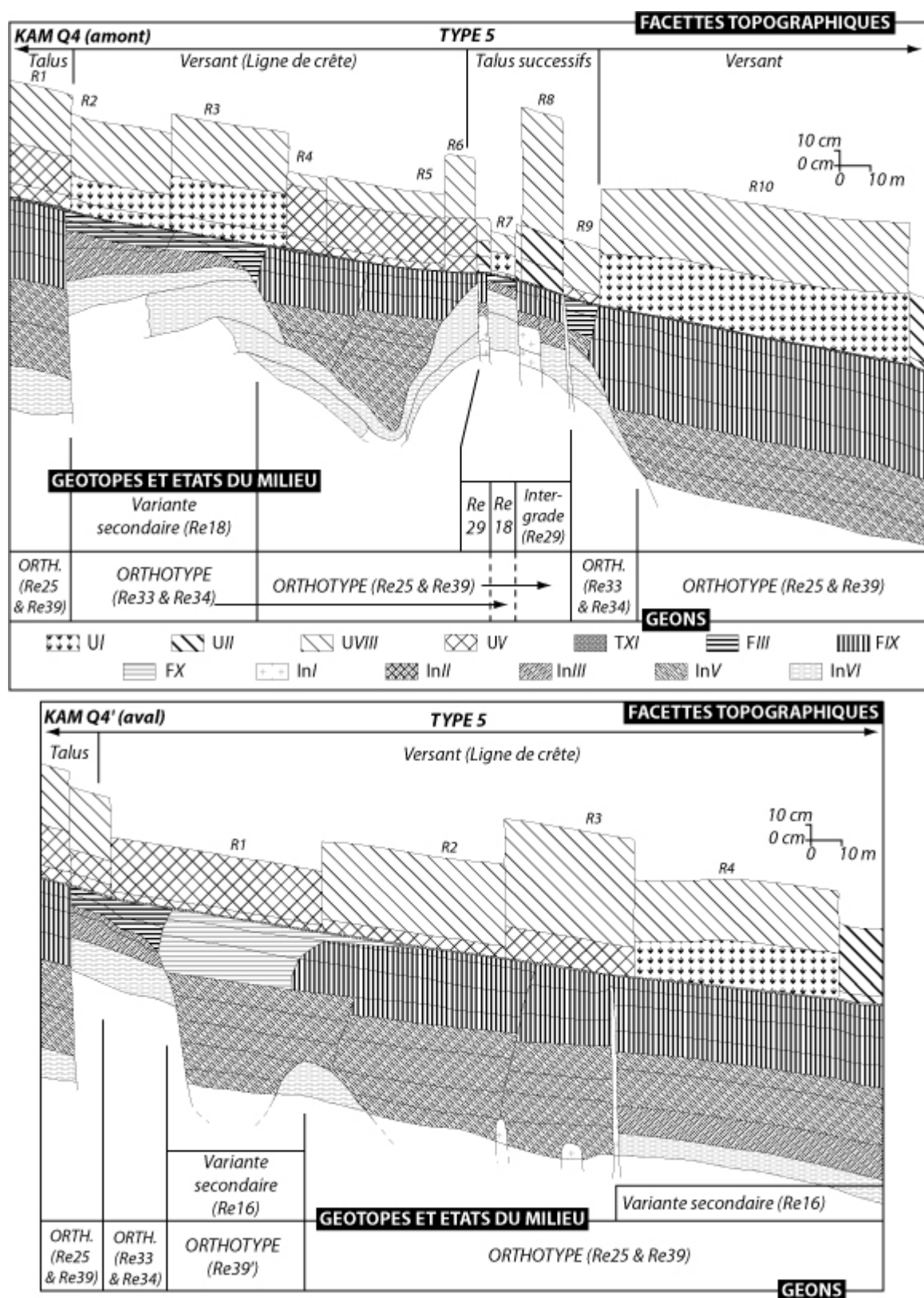


Figure 8.5 : Géons et géotopes le long de la quatrième toposéquence de Kamech (KAM Q4 et KAM Q4').

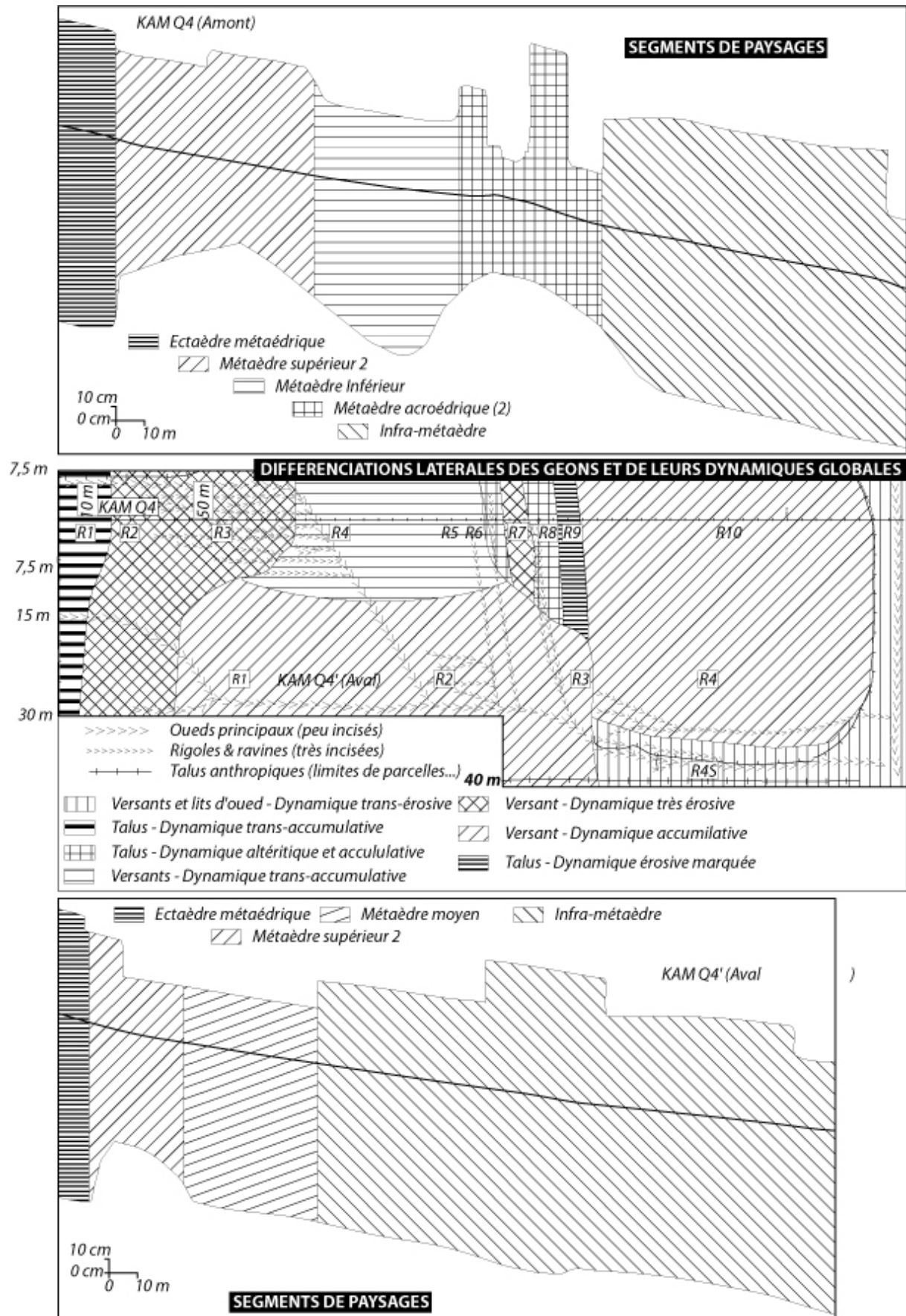


Figure 8.6 : Dynamiques du milieu et segmentation du paysage le long de la quatrième toposéquence.

La séquence Q4' est nettement plus simple du point de vue topographique et organisationnel. Celle-ci correspond, pour l'essentiel, à un long versant rectiligne de 250 mètres de long pour une inclinaison moyenne de 14 %. Au sein de ce versant aucune rupture significative, hormis dans sa section amont (figure 8.6), le reste de l'ensemble affiche une nette tendance accumulative. Les affleurements de grès dans le prolongement de ceux présents sur Q4 sont maintenus sous une importante couche de sédiments qui semble limiter très fortement leur influence sur le milieu. Toutefois et même si cela ne ressort pas vraiment dans les géons mis en évidence, il est probable que leur impact sur le drainage des sols soit important. Si l'on se base sur leur action en matière de blocage des flux, action maintes fois rencontrée ailleurs dans le paysage, alors nous pouvons envisager la présence d'une nappe d'eau superficielle directement en amont de ces derniers.

Latéralement, une différence apparaît toutefois (carte des dynamiques sur la figure 8.6) : le cours d'eau qui draine l'ensemble s'encaisse brutalement pour former une ravine peu profonde. Ce changement survient à l'aval de la confluence qui permet de rejoindre les flux en provenance de la séquence Q4 et ceux générés par la séquence Q4'. L'apport supplémentaire en eau est de ce fait responsable du changement de dynamique et donc de cet encaissement. La dynamique globale n'est donc plus due à l'accumulation mais à l'ablation des sédiments.

Entre les deux axes décrits ici, le suivi des hoplexols n'a pas montré de changement brutal dans le milieu. Les sols gagnent peu à peu en épaisseur et la ligne séparant les sols des formations géologiques superficielles devient plus régulière : elle apparaît toujours au même moment et gagne en profondeur à mesure que l'on s'approche de Q4' depuis l'amont. Cette plus grande régularité pourrait être causée par la présence d'une nappe d'eau dans la structure, ce qui tendrait à justifier l'hypothèse formulée précédemment sur l'impact des affleurements de grès.

Les séquences Q4 et Q4' définissent ainsi une nouvelle série de segments de paysages. Dix ensembles se succèdent dans cet espace : cinq se définissent au travers des formes du relief, des organisations et des dynamiques de Q4 et cinq autres apparaissent sur Q4'. Toutefois, ce ne sont pas 10 nouveaux segments de paysages qui s'ajoutent au modèle : l'ectadère métaédrique du talus amont, le métaèdre inférieur et l'infra-métaèdre sont les mêmes que ceux inscrits sur Q1. Leur analyse n'est donc pas reprise ici.

Parmi les nouveaux segments, les deux séquences ont en commun le **métaèdre supérieur 2**. Notons que le système de pente dans lequel ce segment s'inscrit de même que son organisation interne sont similaires à ceux du métaèdre supérieur de la première toposéquence (figure 8.4) : il s'agit dans les deux cas d'un versant régulier au sein desquels figurent des sols vertiques reposant sur un front d'altération de la roche mère. Ils occupent également une même place dans le milieu : directement en aval d'un *talus* contrastant par une plus forte pente. Nous sommes donc dans l'obligation d'opter pour un même nom afin de les caractériser. Cependant, les deux segments présentent un point de divergence : celui figurant sur Q1 est certes affecté par une dynamique érosive, mais elle est très fortement limitée par le fait que ce segment ne subit pas de ruissellement provenant de l'amont. Le métaèdre supérieur présent sur Q4 et Q4' en revanche est intensément soumis à l'érosion hydrique : sa position plus en aval dans le paysage fait qu'il représente un secteur de transit des flux d'eau. Du fait de ces dynamiques plus ou moins marquées, ces deux segments sont donc différents et les distinctions qui les caractérisent doivent nécessairement apparaître dans le modèle final. Ainsi, chaque fois qu'un cas similaire se présente, le segment en question se voit affecté d'un numéro afin de clairement le distinguer. En revanche, lorsque deux segments éloignés l'un de l'autre sont en *tout point identiques*, leur attribuer le même nom n'est en rien problématique puisqu'ils traduisent la même structure et la même dynamique.

Bref, le métaèdre inférieur 2 se place directement en aval de l'ectamétaèdre et affiche une dynamique franchement érosive (figure 8.6). Au sein de son ensemble, un réseau assez dense

de ravines prend place. Elles conduisent à la *remontée* en surface, par ablation des sols, de la roche mère. En outre, ce segment est très ruisselant et contribue de manière active au flux à l'exutoire du bassin versant : l'eau *générée* sur place et *reçue* de l'amont se concentre dans les rigoles et rejoint sous une forme concentrée le réseau hydrographique.

Le second segment qui fait son apparition dans cette partie du paysage se localise à mi-pente sur la quatrième toposéquence. Le **métaèdre acroédrique 2** est un segment très complexe au sein duquel les contrastes topographiques et géologiques ont conduit à la différenciation de plusieurs géons endogènes (c'est-à-dire qui alternent les uns avec les autres). Les dynamiques rencontrées vont ainsi de trans-accumulatif à très érosif. Mais compte tenu de la petite taille de chacune des unités il est impossible de les représenter séparément dans des segments distincts. Enfin, la séquence paysagique Q4' permet l'identification d'un dernier segment de paysage : le **métaèdre moyen**. Il prend place entre le métaèdre supérieur 2 et l'infra-métaèdre et s'en distingue à la fois par la nature de ses sols et par ses dynamiques. Il n'affiche ni le côté extrêmement soumis à l'érosion du premier ni le caractère franchement accumulatif du second.

L'analyse des deux toposéquences de la rive droite du paysage de Kamech permet donc de définir 11 segments de paysages différents. Définis en fonction des relations existantes entre les cadres imposés par le relief et les types d'organisation de la géosphère mis en évidence dans les chapitres précédents, ces segments de paysages apportent de nombreux éléments d'explication utiles à la compréhension de cet espace. La jonction des deux domaines d'observation du milieu naturel laisse alors apparaître ses multiples facettes dynamiques et organisationnelles : depuis le long versant régulier et monotone au sein duquel peu de processus interviennent, jusqu'aux espaces transitifs nettement contrastés, toutes les formes rencontrées dans le milieu trouvent une place, une signification et une explication. En outre, les successions latérales présentées par l'intermédiaire de ces deux premières toposéquences apportent déjà des éléments intéressants pour l'analyse des flux qui suivra : les secteurs de transit rapide, les espaces de rétention de l'eau ou encore les zones d'infiltrations privilégiées apparaissent comme autant d'évidences à la lecture des modèles proposés ici. La suite de ce chapitre cherche donc à caractériser la rive gauche du bassin versant de Kamech. Une fois cette étape franchie, il sera alors possible de passer au modèle global annoncé depuis le début de cette thèse.

VIII.2.2 - Les séquences paysagères de la rive gauche.

La suite du chapitre présente donc la rive gauche du paysage de Kamech. Nettement plus contrastée que celle de droite, elle impose la définition de quatre toposéquences (figure 8.3) pour en réaliser l'analyse complète et objective. Comme cela fut le cas de l'analyse menée ci-dessus, la caractérisation des segments de paysages en rive gauche se fait dans le sens du gradient altitudinal : depuis la toposéquence KAM Q5, la plus en amont, jusqu'au couple de séquences Q2-Q3 en passant par la toposéquence Q6. Notons que l'ordre des numéros n'a rien à voir avec l'ordre de l'analyse : il correspond à l'ordre dans lequel les toposéquences furent décrites sur le terrain. Tous les relevés de milieu étant nommés par rapport à ces dernières, nous avons gardé cette numérotation pour les traitements. Ils figurent ainsi dans les résultats. L'effort de synthèse aurait voulu que ces numéros soient remis dans un ordre plus convenable. Faute de temps et surtout par peur d'embrouiller tous les résultats, cet effort n'a pas été fait.

Notre analyse de la rive gauche commence donc, en toute illogique, par la distinction des segments de paysages le long de la cinquième toposéquence, (figure 8.7). Longue de 450 mètres pour une pente moyenne de 8 %, cette toposéquence est assez simple sur le plan

topographique. Elle est essentiellement définie dans le cadre des facettes topographiques de type 1. Ces facettes de versants se répartissent toutefois de part et d'autre d'un talus très court (facette de type 3) mais marquant une rupture significative dans le paysage : il est l'œuvre d'un affleurement de grès de taille importante dont la présence structure le relief d'une part et conduit à la définition de segments aux dynamiques très différentes selon qu'on se situe à l'amont ou à l'aval de ce dernier.

La première partie de la toposéquence est divisée en deux géons largement majoritaires définis par les orthotypes Re1 (le plus en amont) et Re12. A ces deux ensembles s'ajoute également une petite organisation qui ressort assez mal sur la figure 8.7 : il s'agit d'un géon développé sur un affleurement de grès qui correspond à la limite du bassin versant dans ce secteur. Ce géon ainsi que la facette topographique dans laquelle il est inscrit est la réplique exacte du premier géon de la rive droite (ils assurent d'ailleurs tous deux la même fonction de limite à ce paysage) En conséquence il permet de définir un **acroèdre**, premier segment de paysage à apparaître dans cette partie de l'espace. Sa taille restreinte et ses nombreuses analogies avec celui situé *directement en face* font qu'il n'est pas utile de s'attarder plus longtemps sur celui-ci.

Le second géon (Orthotype Re1, variante majeure Re35) est assez original dans le paysage de Kamech : son organisation verticale ne met pas en scène le traditionnel sol vertique qui caractérise la majeure partie du paysage, mais un sol brun calcaire atypique. Les éléments d'explications relatifs à cette organisation ont d'ailleurs été fournis au chapitre précédent, le cadre spatial ne fait que mettre en évidence les raisons supposées lors de cette analyse. Hormis ce *détail* la structure est comparable à certains géons sur sols vertiques : ces éléments rappelant une dynamique colluviale apparaissent à proximité du métaplexion strict et plus en profondeur, des sols en place occupent le profil. Notons cependant que les hoplexols d'altération de la roche mère, susceptibles de traduire une activité pédogénétique sont très restreints. Ce phénomène est lié à l'absence des fentes de retrait à cet endroit. En effet, dans un sol vertique, l'eau entre facilement en profondeur ce qui la rend rapidement et durablement disponible pour alimenter des processus de transformation de la matière. Ce caractère est alors crucial dans un monde où ce type d'activité est rare faute de ressources hydriques nécessaires. Or notre brunichron n'affiche pas cette caractéristique. En conséquence, l'eau n'entre pas suffisamment loin dans le milieu pour altérer la roche sur des épaisseurs importantes.

Le second géon à partager cette facette topographique est établi sur un important affleurement gréseux. Il domine d'ailleurs légèrement ceux qui l'entourent : le relief se structure sous la forme d'une petite butte allongée dans l'axe de la couche rocheuse. La carte des dynamiques globales sur la figure 8.6 montre d'ailleurs un changement brutal dans l'orientation des écoulements : ils sont déviés au pied de la butte et la contournent par le sud-ouest. La présence de cet affleurement implique également des sols de nature très différente : contenant une part très importante de sable, ils témoignent d'une importante activité altérétique qui mène progressivement à la disparition de la roche. L'*accumulation* de sable qui en résulte ne semble pas réellement être soumise à une importante activité érosive. Les sols sableux n'occupent que l'espace situé au dessus de l'affleurement, et nulles traces d'éventuelles migrations ne figurent alentour. Donc, à moins que les particules ne soient emportées *très loin vers l'aval* par un fort ruissellement, ce qui est peu probable, il semble que le géon considéré ici soit stable et peu soumis à la disparition de ses composantes minérales.

La facette topographique accueille ainsi deux géons très différents du point de vue organisationnel et dynamique. Il convient alors de la scinder en deux segments de paysages un **métaèdre inférieur** (noté inférieur du fait de sa dynamique et non de sa position dans le milieu) placé à l'amont et un **acro-métaèdre** en aval, sur l'affleurement de grès. Ce dernier ne doit pas être confondu avec les métaèdres acroédriques de la rive droite : sa position relative

fait qu'il domine les segments alentours contrairement au métaèdres acroédriques plus apparentés à des segments de raccord.

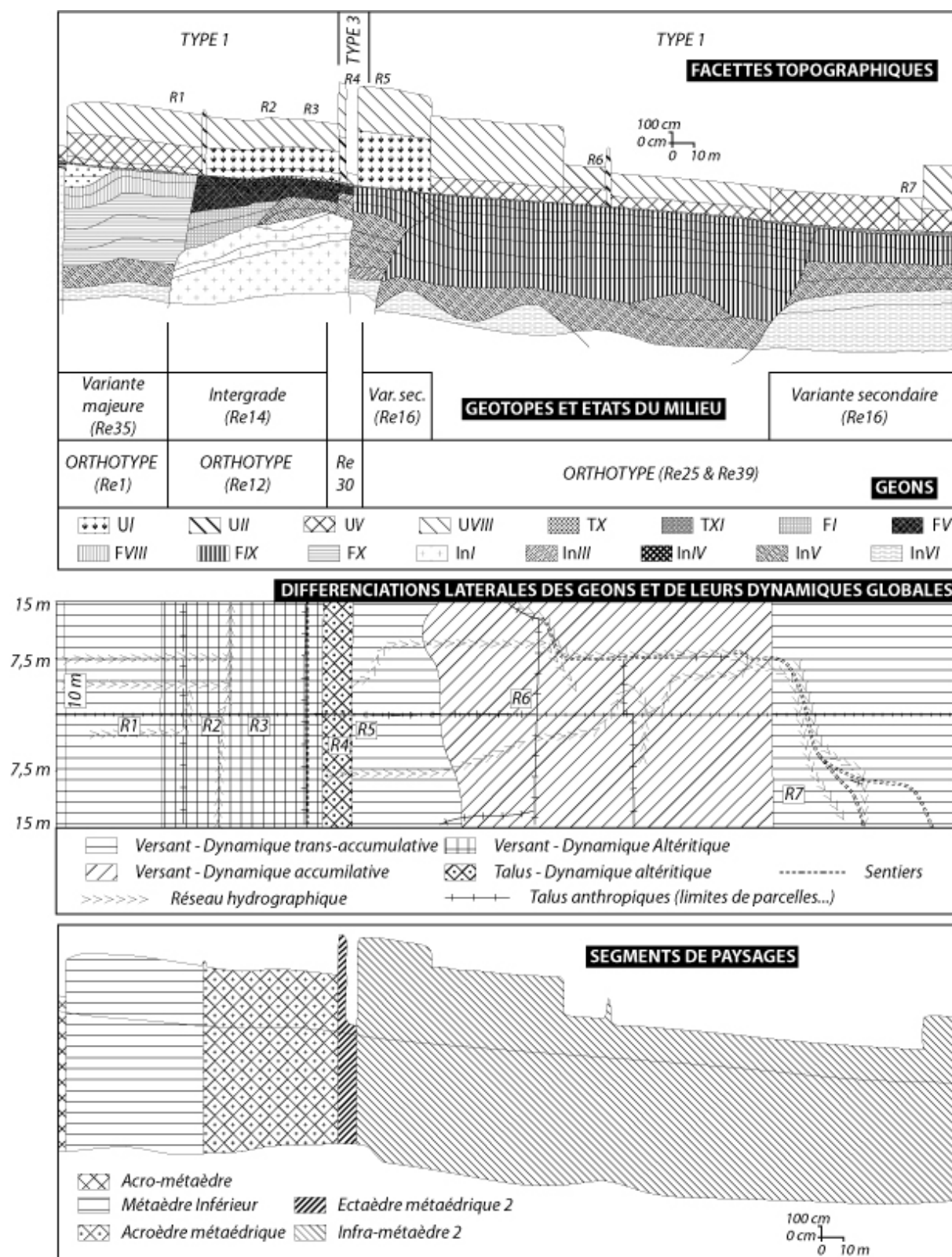


Figure 8.7 - Géons, géotopes et segments de paysages le long de la cinquième toposéquence de Kamech.

A la suite de ces deux premiers segments de paysages un petit talus (6 mètres de long pour une pente de 30 %) assure la jonction avec les segments plus en aval. Ce talus correspond à la facette topographique de type 3 sur la figure 8.6. Décrit comme un **ectaèdre métaédrique 2**, facette de raccord en forte pente, ce petit segment de paysage renvoie à un unique géon (Re30). Son organisation interne et ses dynamiques diffèrent nettement des ectaèdres métaédriques de la rive droite : au lieu d'une forte érosion ce dernier présente un faciès altéritique et des sols sableux. Il s'inscrit alors parfaitement dans le prolongement du segment qui figure directement en amont et décrit une structure similaire à celui-ci.

Enfin sur la dernière section de cette toposéquence, une facette de versant (type 1) longue de 320 mètres pour une pente de 9 % environ accueille un unique géon orthotype (orthotype Re25 & Re39). Mis à part dans ses portions les plus en amont et les plus en aval où un géotope (variante secondaire Re16) apporte quelques nuances minimales à cette organisation, la régularité de ce versant est remarquable : les hoplexols du métaplexion inférieur s'alignent parfaitement et le front d'altération est situé à profondeur égale. En outre la dynamique entaférique généralisée lui confère un caractère strictement accumulatif. Cette dynamique est en partie impulsée par l'affleurement régolique qui survient directement en aval de cette structure. Il impose une contrepente qui ne laisse que deux possibilités aux flux hydriques pour quitter cette facette topographique. Cet affleurement (non représenté sur la figure 8.7 mais remarquable sur la figure 8.3) apparaît dès lors comme un îlot séparé du reste de la structure dans laquelle il s'inscrit théoriquement par deux cluses réparties de part et d'autre de celui-ci. Ces cluses sont définies comme des **ecta-cataèdres** : segments de raccord de nature très érosives et imposant au cours d'eau le passage par une cascade pour atteindre les parties aval de son lit.

Du fait de cette structure topographique, ce versant aux allures d'entonnoir concentre une grande partie des flux d'eau et de matières en provenance de l'amont du bassin versant et la diminution de sa pente en aval, avant d'atteindre les ecta-cataèdres, conduit à un ralentissement de ce flux. Cela a deux impacts visibles directement : le premier est l'accumulation massive de sédiments et le second est l'infiltration et le stockage massif d'eau dans les sols pour former une nappe superficielle qui se maintient une grande partie de l'année. A titre d'anecdote, les fosses R7 et surtout R6 (malgré sa position au sein de l'unité) devaient être vidées avant de pouvoir être étudiées. Les traces du passage de l'eau dans ce géon se matérialisent également par de nombreuses traces d'oxydation tels que des réseaux de points disjonctifs et parfois même des marbrures plus larges. Du fait de son organisation, du système de pente et des dynamiques qui affectent cet ensemble, le segment qui prend place ici correspond à un **infra-métaèdre 2**. Il se rapproche ainsi des segments du type infraèdre situés en rive droite, si ce n'est que sa longueur est nettement plus conséquente et que sa position dans le milieu est également différente. Les autres segments de ce type sont d'ailleurs des points bas du paysage, ils sont ainsi directement reliés à l'oued sans passer par d'autres segments tandis que celui-ci se place dans un ensemble dominant une partie du bassin versant. La cinquième toposéquence renvoie à cinq segments de paysages parmi lesquels trois sont originaux vis-à-vis de ceux rencontrés jusqu'à présent. Simplicité et homogénéité sont deux notions qui conviennent parfaitement pour caractériser les segments définis le long de cette toposéquence. Le contraste avec le reste des segments de la rive droite est d'ailleurs très net.

La sixième toposéquence (figure 8.3 et 8.8) lui succède spatialement. Cette dernière, décalée vers le sud-ouest de quelques dizaines de mètres, permet de caractériser une section de versant parallèle à celle de Q5 mais qui diffère au niveau des comportements hydrodynamiques. En outre, malgré sa courte longueur (230 mètres) cette séquence assure la jonction entre l'amont et l'aval du paysage.

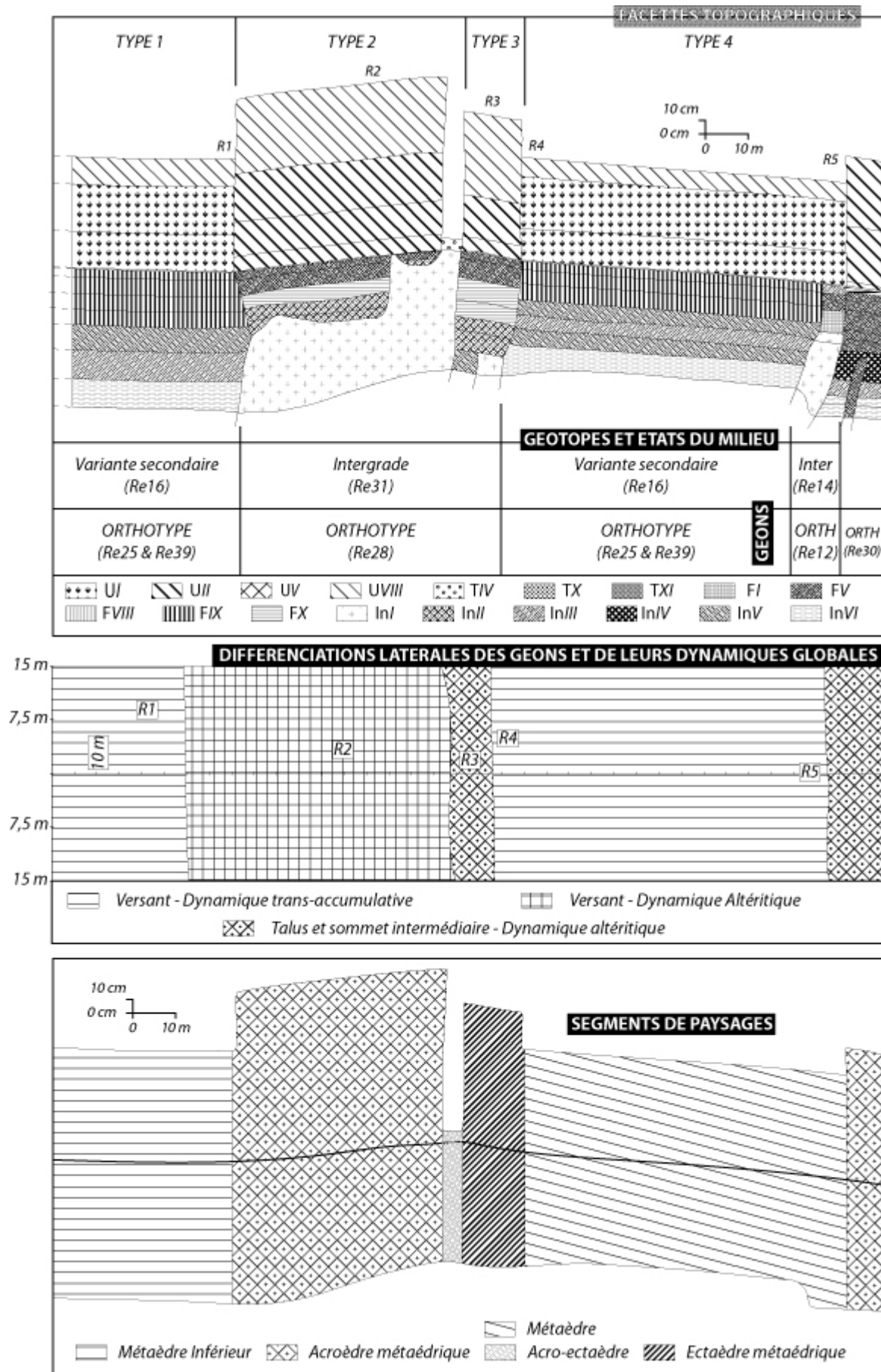


Figure 8.8 : Géons, géotopes et segments de paysages le long de la sixième toposéquence de Kamech.

Du fait de la structure topographique dans laquelle elle prend place, cette toposéquence recoupe quatre types de facettes topographiques de la rive gauche de Kamech (figure 8.8) : établie à l'amont sur un versant de type 1, elle franchit le revers d'un affleurement dominant cette partie du relief (facette topographique de type 2). Dans la continuité de cette structure, elle passe par un talus correspondant aux facettes topographiques de type 3 avant de rejoindre enfin sa dernière section dans les collines du type 4. Au cours de cette progression elle offre un aperçu intéressant des organisations et des dynamiques qui apparaissent dans ces quatre formes du relief.

La première facette topographique rencontrée est longue d'une cinquantaine de mètres et inclinée de 7 % en moyenne. Celle-ci n'est toutefois pas représentée dans son intégralité sur la figure. Elle remonte en effet jusqu'à la limite amont du bassin versant. Un seul géon occupe ce système de pente. Défini par l'orthotype Re25 & Re39 et plus particulièrement par la variante secondaire Re16, ce géon renvoie à des sols à caractère vertique d'origine colluvial. La dynamique est donc à l'accumulation des sédiments dans la partie aval de la facette topographique. La parti amont de ce versant est en revanche moins connue : l'interdiction par le propriétaire de la parcelle agricole d'ouvrir une fosse pédologique est la cause de l'absence de connaissance. L'amont ne doit cependant pas faire l'objet de variations brutales. Comme pour Q5 ou pour les versants de Q1, ce type de facette topographique affiche toujours une certaine régularité dans ses successions verticales et latérales. Il paraît donc évident qu'un sol à caractère vertique prenne place dans cet ensemble. Le point le plus ennuyeux est de savoir si ce sol est le fruit d'une accumulation ou s'il s'est formé sur place. Compte tenu de la structure topographique de l'ensemble, nous opterons pour la seconde solution bien qu'un doute persiste à ce sujet. En tout état de cause cette facette topographique et son géon définissent un **métaèdre inférieur** permettant de caractériser sa dynamique dans sa partie connue. Celui-ci se prolonge vers l'amont par un probable métaèdre supérieur.

La seconde facette topographique est également définie par un géon unique. Celui-ci est décrit par l'intergrade Re31, rattaché à l'orthotype Re28. Comme cela fut évoqué au chapitre précédent (VII.2.3), l'agencement vertical prenant place dans cette facette topographique une conjoncture géologique, topographique et géomorphologique : une facette topographique établie sur le revers des couches géologiques et au contact avec une discontinuité lithologique majeure. Le géon inscrit dans ce cadre s'apparente ainsi au géon orthotype Re28 de la première toposéquence. Très proches sur tous les plans, il semble donc normal qu'ils permettent d'établir un même segment de paysage. Un **acroèdre métaédrique** prend ainsi place dans cette facette de type 2 renvoyant au revers de la structure géologique.

En outre au sommet de cet ensemble le régolite affleure à la surface du sol. La grande simplicité du milieu à cet endroit, les sols et la végétation étant absents dans ce géon, fait qu'il ne fut pas jugé utile de créer un relevé spécifique pour caractériser cette structure. Il semble toutefois intéressant de préciser qu'à cet endroit apparaît un petit segment de sommet, globalement plan, qui assure la transition entre les deux versants de la butte formée par les facettes de type 2 et 3. Ce petit segment de raccord à la dynamique très érosive, affichant même des formes de corrasion, mérite alors de figurer dans la segmentation de paysage. Il définit ainsi un **acro-ectaèdre**.

La troisième facette topographique correspond à un talus court mais en forte pente assurant la transition entre les facettes de type 2 et celles de type 4. Son agencement vertical et sa dynamique franchement altéritique ne vont pas sans rappeler la structure de l'acro-métaèdre qui le précède à l'amont. Toutefois sa localisation dans une facette topographique de talus impose de définir le segment de paysage comme un **ectaèdre métaédrique**, autrement dit une facette de raccord entre deux ensembles plus conséquents. Enfin avec la dernière facette topographique nous retrouvons un contexte plus classique, ou tout du moins plus général, pour le paysage de Kamech. Le versant régulier est associé à un géon tanolique développant

des sols à caractère vertique et soumis à des phénomènes d'accumulation. Le segment qui se dégage de cette structure et les dynamiques auxquelles elle renvoie permettent alors de caractériser un **métaèdre**. Avant de passer à l'analyse des toposéquences suivantes (KAM Q2 et KAM Q3), il est bon de préciser que la dernière structure à apparaître sur cette toposéquence correspond en fait au segment amont que ces deux toposéquences ont en commun et qui permet d'assurer la transition amont / aval entre ces trois ensembles.

Les deux dernières toposéquences analysées (figure 8.9 et 8.10) dans ce chapitre présentent de nombreuses similitudes : elles sont toutes deux utiles à la définition des segments de paysages dans un ensemble aux systèmes de pentes complexes. Elles s'inscrivent dans une succession de talus étagés (facettes de type 3), structurés par la présence d'affleurements gréseux, entre lesquels prennent place des collines vallonnées (facettes topographiques de type 4). Dans une certaine mesure ces deux toposéquences peuvent faire l'objet d'une description conjointe, similaire sur le principe aux séquences Q4 et Q4' disposées en rive droite. Elles furent choisies dans ce sens : la toposéquence Q2 est utile à la détermination des changements de profil dans les sections en aval des collines tandis que la toposéquence Q3 permet de définir leurs parties amont (figure 8.3). Toutefois, il s'avère que Q3 est nettement plus longue que Q2, si bien que les comparaisons entre elles se limitent uniquement aux portions d'espace qu'elles ont en commun.

La première facette topographique, représentant un talus long d'une soixantaine de mètres pour une inclinaison moyenne d'environ 28 %, correspond au point de départ de ces deux toposéquences. Cet espace se caractérise par une structure complexe au sein de laquelle trois géons distincts se succèdent. Tout à l'amont apparaît une première structure définie par l'orthotype Re30. Celle-ci se développe sur une alternance d'affleurements rapide de grès et de marnes. Cette entité organisationnelle développe des sols stables contenant une forte part de sables qui témoignent d'une importante activité altéritique dont il a déjà été question de nombreuses fois au cours des paragraphes précédents : l'eau s'infiltre dans le milieu, dissout les ciments calcaires contenus dans la roche et ne laisse en place qu'un amas de sable passablement structuré par des argiles néoformées et par des sols témoignant de processus de brunification. Le maintien de l'eau dans cette organisation est en outre favorisé par un affleurement de grès relativement mince mais limitant de manière significative les migrations d'eau vers l'aval. Cet affleurement marque d'ailleurs une des limites spatiales de ce géon.

Directement en aval apparaît un second géon caractérisé par un sol peu développé et le substrat tanolique proche de l'affleurement. Le système de pente et la forme du versant, dans lequel ce géon s'inscrit conduit à développer une érosive. Celle-ci est cependant nettement atténuée par la présence pérenne d'une dense végétation buissonnante qui conduit à limiter efficacement l'agressivité de la pluie et du ruissellement. A mesure que l'on progresse vers l'aval de ce versant, la pente change de forme et son inclinaison diminue. Le profil devient progressivement concave. L'organisation qui prend place au sein de cette organisation passe alors à un nouveau géon dont la dynamique est cette fois accumulative : des sols colluviaux occupent cet espace et le milieu devient plus profond. Une structure similaire occupe le talus en aval sur Q3.

La facette topographique de talus considérée ici est divisée en deux segments de paysages : tout à l'amont, pour faire ressortir la dynamique altéritique et la faible pente, c'est un **ectaèdre métaédrique** qui prend place. La section en forte pente est quant à elle définie par un **ectaèdre métaédrique**. Ce segment de paysage est un segment mixte car il est occupé par deux géons de nature différente mais qui sont couplés entre eux par l'intermédiaire des flux hydriques et érosifs. La dynamique globale de l'ensemble est décrite comme étant trans-érosive.

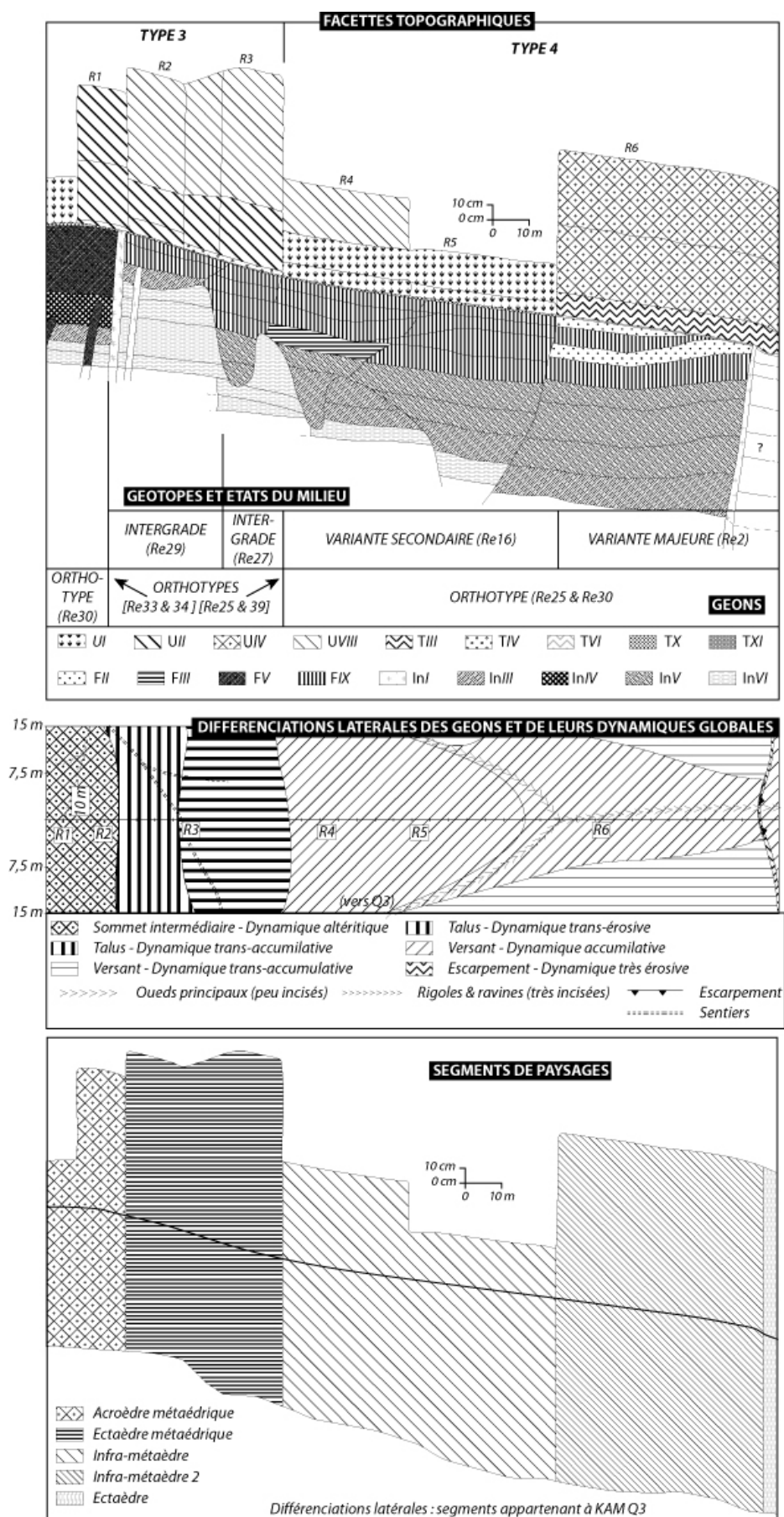


Figure 8.9 : Géons, géotopes et segments de paysages le long de la deuxième toposéquence de Kamech.

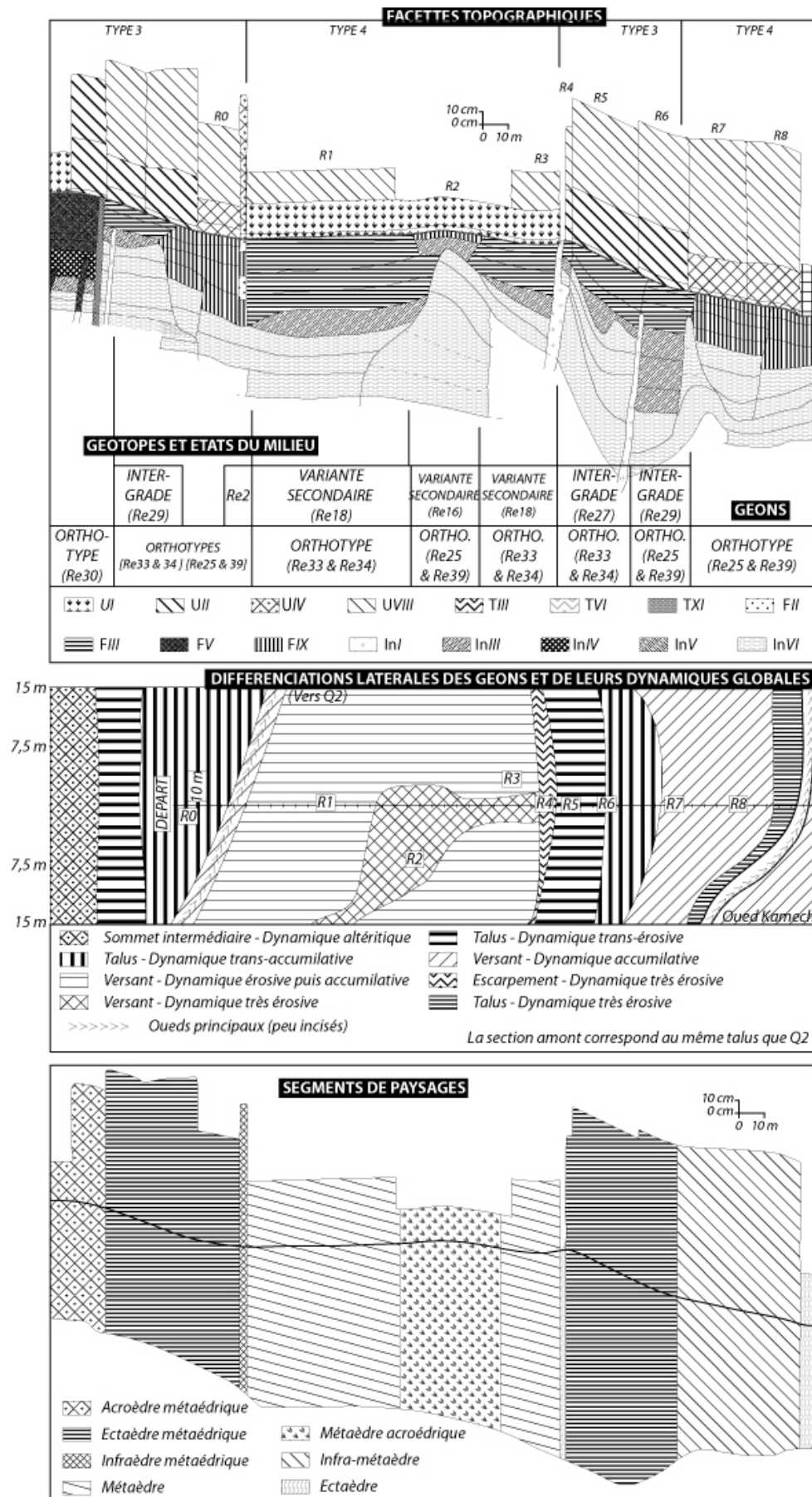


Figure 8.10 : Géons, géotopes et segments de paysages le long de la troisième toposéquence de Kamech.

Arrivées à la base de ce talus, les deux toposéquences suivent des destins différents : la séquence Q2 s'enfonce entre deux collines aux versants arrondis et permet d'analyser ce qui survient dans les bas fonds de la rive gauche tandis que Q3 s'attache à décrire la partie amont de ces collines. Les deux systèmes sont cependant inter-reliés par les flux : la section aval dépend de l'amont pour assurer son fonctionnement.

La dynamique de bas-fond inscrite dans cette partie du paysage est assurée par un unique géon qui présente deux variantes : la première variante (Re16) se localise dans la section amont. Elle se caractérise par des sols colluviaux profonds reposant sur une épaisse zone d'altération de la roche mère tanolique. Mis à part ces caractéristiques banales, rien ne ressort véritablement de cette structure déjà largement décrite précédemment. La section plus en aval, matérialisée par le géon Re2, est nettement plus singulière : fonctionnant en interaction avec l'affleurement gréseux directement en aval et concentrant les flux d'un impluvium défini par le talus amont et par deux collines parallèles, dont Q3 permet l'analyse, cette entité de bas fond accueille une nappe d'eau quasi-pérenne. La végétation hydrophile qui prend place dans cet ensemble témoigne d'ailleurs de la durée de la présence d'eau dans cet ensemble. Il s'agit là du relevé caractéristique des bas fonds de Kamech, dont il fut déjà plusieurs fois questions dans les chapitres précédents. Même si les dynamiques globales de ces deux géons sont similaires, il convient de les séparer dans deux segments distincts afin de faire ressortir les caractéristiques originales du second géon. De ce fait, un **infra-métaèdre** occupe la première partie de la section et un **infra-métaèdre 2** se place dans la seconde. Enfin le ressaut gréseux qui marque la fin de la séquence est défini comme un **ectaèdre**.

La séquence Q3, dans sa partie correspondant à l'amont de l'impluvium alimentant les bas fonds affiche deux structures distinctes. La première correspond aux versants convexo-concaves de la colline qu'il caractérise. Au sein de ce premier ensemble présente un développement variable : relativement peu épais dans les sections amont ils deviennent nettement plus conséquents à mesure que l'on progresse vers l'aval. Les dynamiques qu'ils mettent en évidence apparaissent alors clairement : plutôt érosives en amont et franchement accumulatives en aval, au contact avec l'infra-métaèdre de Q2. Compte tenu de la portion restreinte d'espace sur laquelle s'opère ce changement, il n'est pas possible de définir deux segments de paysages. L'ensemble est alors défini par l'orthotype **métaèdre**. La seconde structure correspond au sommet de la colline. Limité spatialement à un linéaire qui correspond à la ligne de crête, le géon qui occupe l'espace présente une nette tendance à l'ablation : le tanolite affleure à la surface du sol, il n'est protégé que par une maigre couche de sol. Notons d'ailleurs qu'il n'est pas rare, dans ce genre de contexte, de voir une rigole peu profonde se former à même la ligne de crête. Le segment de paysage qui apparaît s'apparente alors à un métaèdre acroédrique. Cette dénomination permettant à la fois de prendre en compte sa position dans le paysage et sa franche dynamique érosive.

Un talus fortement incliné succède à ces deux segments. Son organisation étant la même que celle du talus placé en amont, il ne sera pas analysé ici. Nous passons donc directement à la base de ce talus et par la même occasion au dernier segment de paysage qu'il nous est donné d'analyser dans ce rapport. De par sa position dans le paysage, l'épaisseur de ses sols et la forme de sa pente, la nature de ce dernier segment ne fait aucun doute : il s'agit d'un infra-métaèdre. Sa dynamique est donc accumulative. Il représente d'ailleurs le pendant du dernier segment de paysage apparaissant sur Q4-Q4'. Légèrement encaissé entre ces deux structures s'écoule l'oued Kamech. La limite de son lit mineur correspond d'ailleurs à l'ectaèdre qui prend place en toute fin de la troisième toposéquence. Cette situation permet de supposer que les deux structures qui se font face actuellement étaient, à l'origine, un seul et même ensemble. Il convient alors de ne pas les différencier dans l'analyse : le dernier segment de Q3 apparaît alors comme un **infra-métaèdre**. Notons que les infra-métaèdres situés à proximité

de l'oued principal jouent très probablement un rôle intéressant au niveau du maintien d'un débit minimal en début de période d'étiage. Leur structure et leur position dans le milieu les rendent en effet apte à maintenir une nappe temporaire. Ils se comportent alors comme un infra-métaèdre 2 à cela près qu'aucune discontinuité structurale n'apparaît en aval de ces derniers. De ce fait, leur rôle dans la conservation d'un débit minimal est très limité : leur faible extension spatiale conduit à un épuisement rapide de leurs réserves en eau. Ils se vident rapidement et ne contribuent pas au maintien d'un écoulement permanent dans l'oued Kamech. Ces deux dernières toposéquences permettent d'achever l'analyse des organisations et des dynamiques du paysage de Kamech. Elles sont utiles à la différenciation de 8 segments de paysages qui permettent de caractériser une des parties les plus remarquables de ce paysage.

L'étape que nous venons de franchir est d'une grande importance : elle permet la différenciation des segments de paysages utiles à l'explication de l'organisation du paysage de Kamech. Le long de six toposéquences, choisies au départ pour leur représentativité, la confrontation des cadres topographiques et des types de géons autorise la distinction de 14 segments de paysages qui se répartissent de part et d'autre de l'oued principal. Chaque segment défini correspond à un modèle explicatif de l'organisation du milieu naturel qui permet d'appréhender l'extension latérale et la succession des agencements verticaux de la géosphère mais aussi de leur donner un sens au niveau des dynamiques hydriques et érosives globales. Il s'agit donc maintenant de montrer comment le milieu influence les flux hydriques au sein du paysage de Kamech.

VIII.2.3 - Les interprétations hydrodynamiques.

Les interprétations dynamiques permises à l'issue des analyses précédentes sont représentées au travers des six toposéquences. Les figures qui suivent (figures 8.11 à 8.13) s'attachent ainsi à montrer le cheminement vertical de l'eau dans les segments de paysages ainsi que les successions qui surviennent entre eux dans les segments de paysages. Les interprétations réalisées considèrent que le flux entrant est constant et homogène sur l'ensemble du milieu. De cette manière, tous les éléments représentés sont comparables entre eux. Ces représentations peuvent à ce titre être considérées comme des modèles d'écoulement de l'eau dans le milieu naturel.

Ces figures tentent de faire apparaître les éléments essentiels de la circulation de l'eau dans le paysage. Sont ainsi représentés les flux entrant dans les segments, depuis l'atmosphère ou le segment précédent, les flux de ruissellement, les drainages isoclinaux lorsqu'ils existent. En outre, ces figures tentent également de faire apparaître les espaces où l'eau est stockée dans les sols et les linéaires responsables d'un arrêt des écoulements. L'épaisseur des symboles croît et décroît en fonction des apports et des pertes successives inhérentes au cheminement de l'eau dans le milieu. Ces flux ayant fait l'objet de maintes explications dans les paragraphes et les chapitres précédents, les figures présentées ne sont pas analysées individuellement.

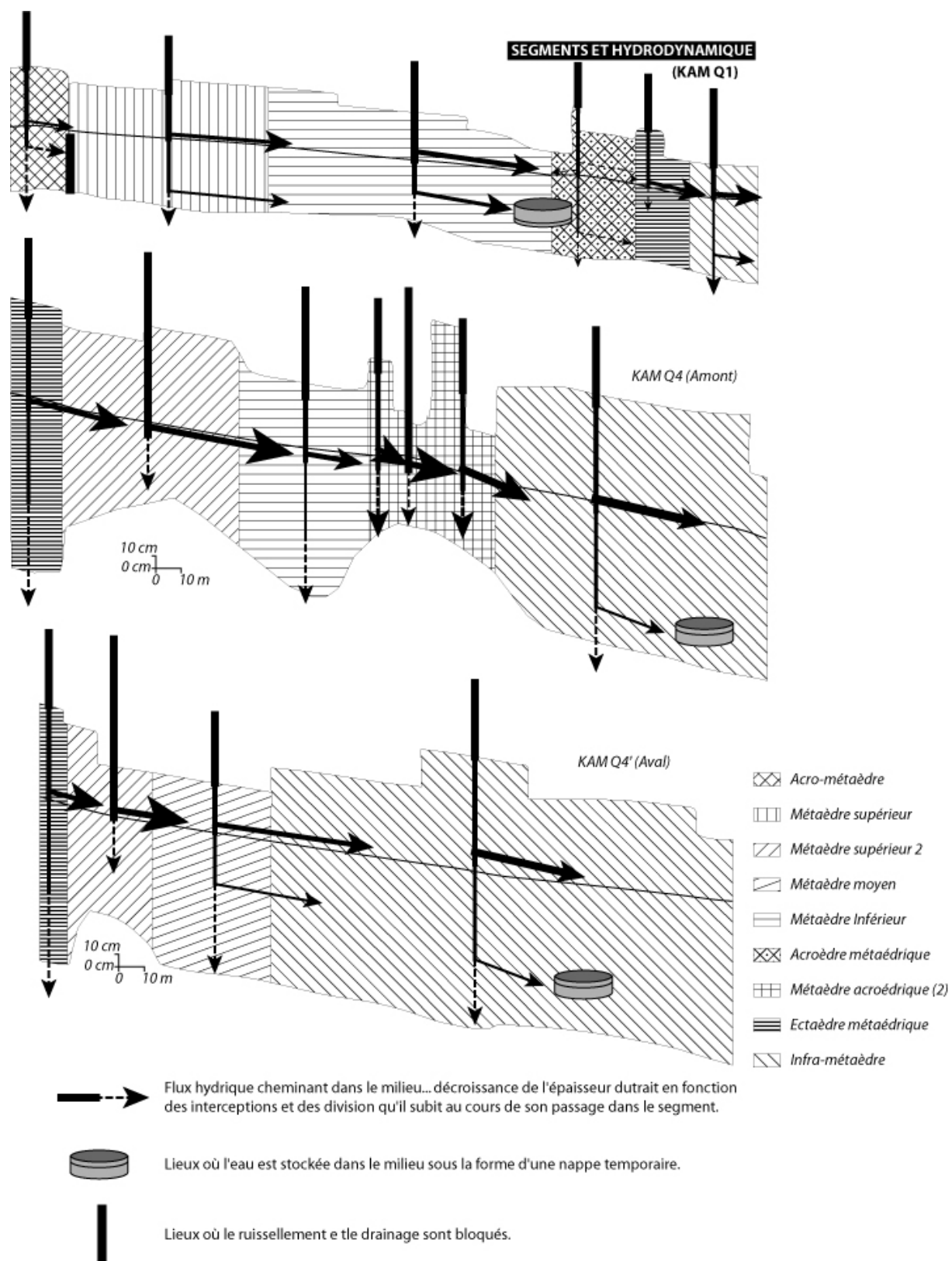


Figure 8.11 : Modèle du cheminement de l'eau en rive droite du paysage de Kamech.

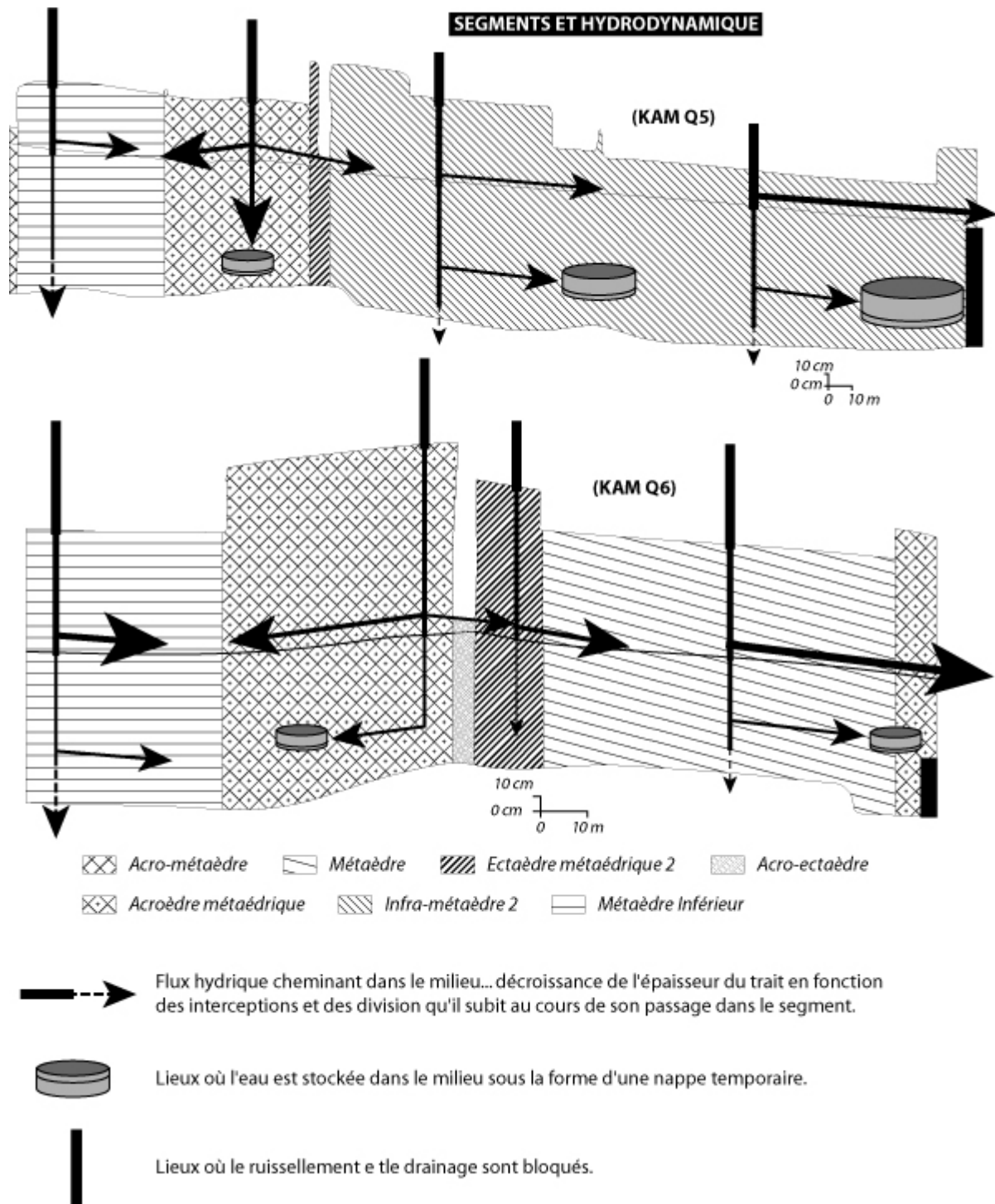


Figure 8.12 : Modèle du cheminement de l'eau en rive gauche du paysage de Kamech (section amont).

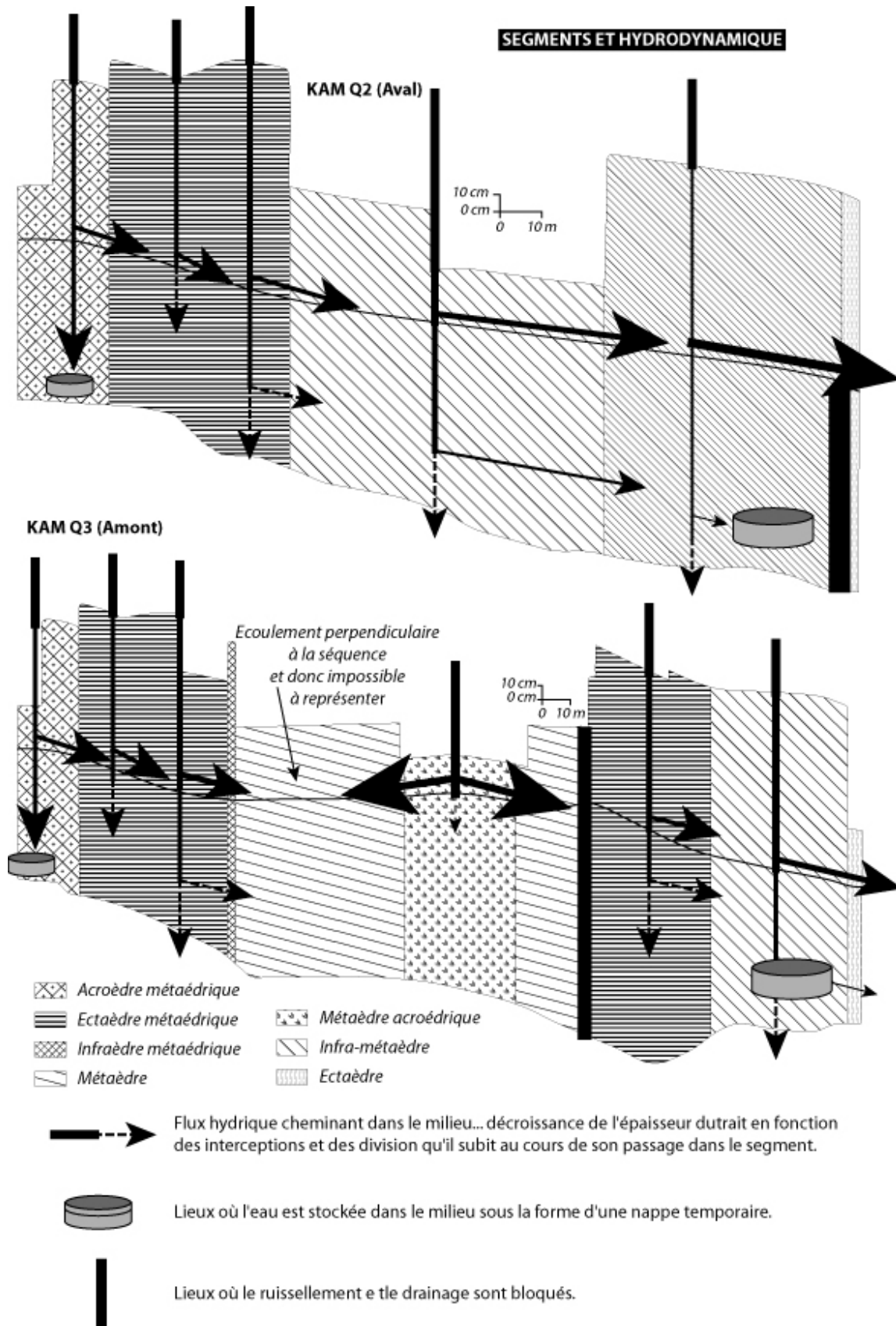


Figure 8.13 : Modèle du cheminement de l'eau en rive gauche du paysage de Kamech (section aval).

Les résultats présentés ne s'appliquent pour l'instant qu'à des linéaires, mais ils offrent une vision intéressante de la progression des flux dans le milieu. En outre chaque segment de paysage étant caractérisé de cette manière, il est possible d'appréhender les dynamiques hydriques de l'ensemble du paysage par la lecture de la carte finale.

VIII.3 - LA CARTOGRAPHIE DES SEGMENTS DE PAYSAGES.

La troisième étape de ce chapitre concrétise toutes les analyses menées jusqu'à présent : elle propose la carte des segments de paysages de Kamech. Cette carte est établie à partir du couplage, le long des toposéquences, entre les systèmes de pente élémentaires et les types d'organisation du milieu naturel. Deux représentations sont proposées ici : la première offre le détail de la segmentation du paysage à proximité des toposéquences (figure 8.14) et la seconde présente la carte des segments de paysages à proprement parler (figure 8.15). En outre, le tableau 8.1 offre un support de lecture pour appréhender les organisations et les dynamiques mises en évidence par ces cartes.

La carte finale est réalisée manuellement mais elle tâche de reporter le plus fidèlement possible l'ensemble des éléments mis en évidence dans les chapitres précédents. Sa mise en œuvre a nécessité, en premier, de reporter les segments dans les facettes topographiques situées à proximité immédiate des toposéquences (figure 8.10). Procédant ensuite de proche en proche, par comparaison entre les structures topographiques et en se référant aux images aériennes, la segmentation du paysage a pu prendre forme et s'étendre à l'ensemble du bassin versant de Kamech.

D'une manière générale, les segments de paysage définis entrent bien dans le cadre topographique déterminé par le découpage en facette présenté au début de ce rapport (chapitre IV). L'intérêt de la typologie des facettes s'est d'ailleurs manifesté lors de la segmentation du paysage. En effet mis à part le fait qu'elle amène des éléments essentiels à l'analyse des dynamiques du milieu naturel, les regroupements réalisés permettent l'extrapolation : par les types de systèmes de pentes que cette typologie met en évidence, elle offre la possibilité de coupler systèmes de pentes et organisations du milieu naturel ; au niveau de la toposéquence, dans un premier temps, puis au niveau spatial dans un second temps.

Notons d'ailleurs que peu de remaniements furent nécessaires au sein des types de facettes topographiques : les rares fois où cela s'est produit concerne uniquement les facettes de grande taille. De ce fait, ils ne s'appliquent qu'aux types 1 et 2. Les modifications opérées sont liées au fait que les dynamiques changent du tout au tout entre l'amont et l'aval de ces grands versants. Il est donc apparu comme nécessaire de les matérialiser dans des segments différents.

Hormis ces modifications, il est également nécessaire de préciser que trois segments apparaissent sur les cartes sans pour autant avoir fait l'objet de mesure de terrain. Une triple raison motive cette volonté :

- La première concerne les infraèdres : les dynamiques de ces segments sont telles qu'ils changent trop souvent et trop rapidement d'organisation, à la fois dans le temps et dans l'espace. Les répertorier et les intégrer à l'analyse n'aurait fait que compliquer un peu plus les traitements sans apporter d'éléments réellement intéressants.
- La seconde concerne les cataèdres : dans ce cas, c'est leur grande simplicité qui a conduit à les laisser de côté lors de la collecte des données sur le terrain. Dans les espaces concernés, le milieu se résume à un affleurement de tanolite recouvert d'une mince pellicule d'altération. La végétation y est également souvent absente.
- Le troisième concerne les supraèdres : ces segments sont les témoins d'une ancienne surface d'aplanissement. A ce titre, ils apparaissent au sommet de certains versants : ils

correspondent à des espaces plans qui recoupent les structures pédiqes et géologiques. Dans ce cas c'est à la fois leur faible impact sur les flux et leur extension spatiale limitée qui nous a conduit à les délaissier lors de la phase de terrain.

- Enfin, un dernier segment n'a pas non plus fait l'objet d'un relevé : il s'agit des constructions anthropiques. Toutefois, comme leur impact sur les flux hydriques est loin d'être négligeable, il fut jugé bon de les faire apparaître dans le modèle spatial final.

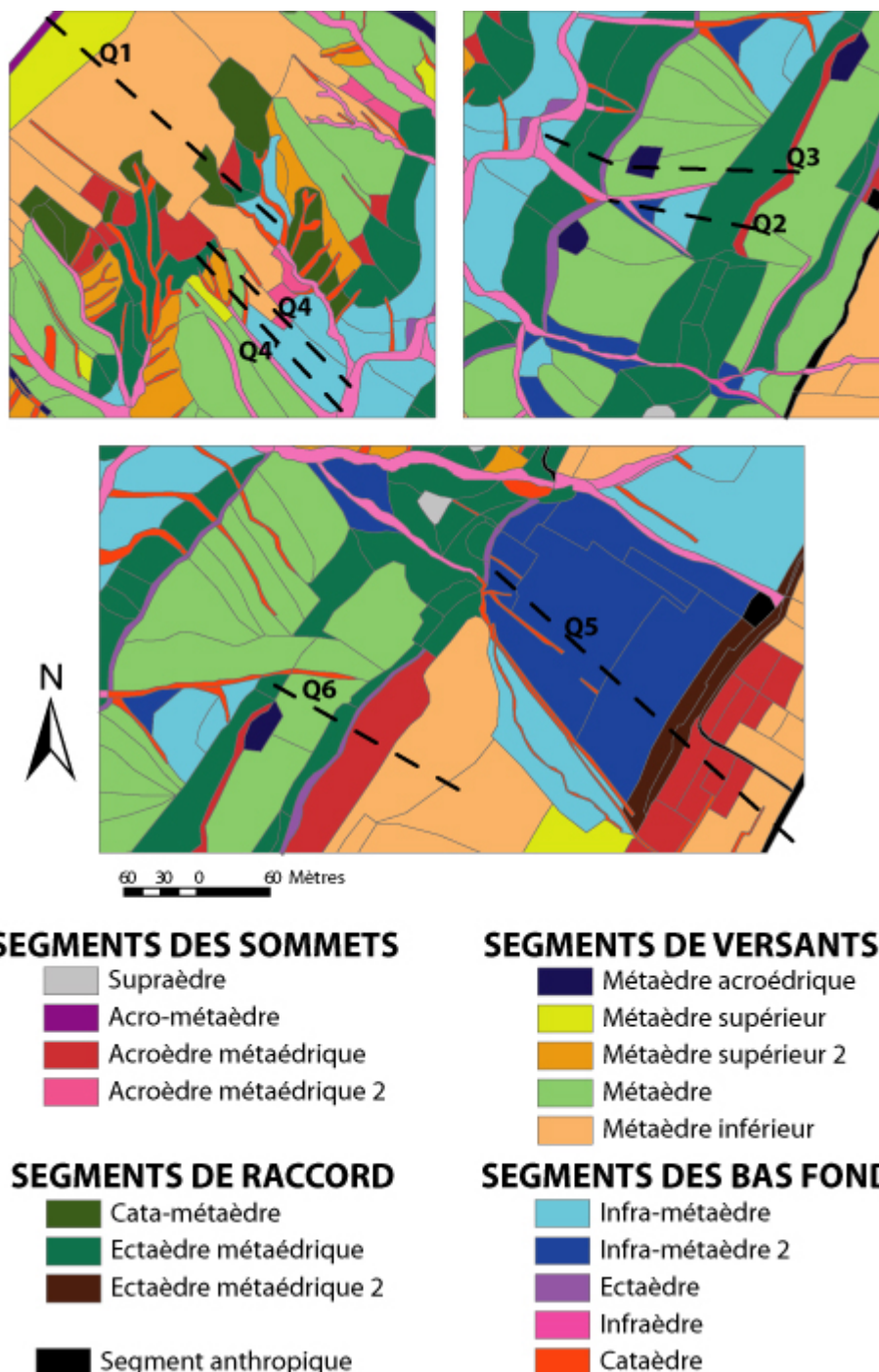


Figure 8.14 : Segments de paysages à Kamech, répartition le long des toposéquences.

La figure ci-dessus présente la cartographie des segments de paysages au niveau des six toposéquences retenues pour l'analyse de Kamech. Il est possible de constater que le résultat proposé fait bien ressortir toutes les organisations présentées dans la section précédente : seul un remaniement des facettes topographiques fut

nécessaire pour la partie amont de Q1. Toutes les autres ensembles font parfaitement concorder organisation verticale du milieu et système de pente.

Il s'agit maintenant de dévoiler la carte des segments de paysages du bassin versant de Kamech (figure 8.11). Cette carte fait apparaître les 14 segments de paysages que toutes les analyses précédentes ont permis de mettre en évidence. De cette manière, chaque unité discrétisée renvoie à l'ensemble des organisations qu'elle décrit, même au niveau le plus élémentaire. En outre, ces segments de paysages sont également le reflet de l'ensemble des processus et des dynamiques qui interviennent dans ce paysage. Aussi, afin de faciliter la lecture de cette carte, le tableau 8.11 résume les différents éléments que chacun d'entre eux caractérise : les formes du relief, les organisations verticales et les bilans de l'eau et de la matière. En outre, il est également possible de se reporter aux quelques figures précédentes si l'on souhaite connaître plus précisément tous les éléments qui interviennent dans ce paysage. De ce fait, cette carte ne sera pas commentée dans son intégralité, cela serait beaucoup trop long. Toutefois quelques idées concernant la structure générale de ce paysage méritent d'être énoncées.

Il est en effet nécessaire de signaler que la rive droite apparaît comme plus complexe ou tout du moins, moins bien organisée que la rive gauche. Le réseau hydrographique, très différent d'une rive à l'autre, est d'ailleurs à la fois la cause et le témoin de ce phénomène : il impose en rive gauche un découpage plus intense des versants et conduit à l'établissement de segments de paysages de taille généralement plus modeste qu'en rive droite. Ce réseau hydrographique est nettement moins détaillé sur le versant droit : les oueds sont peu nombreux et se rejoignent en quelques points bien précis du paysage avant d'atteindre le drain principal. Ce phénomène est dû au fait que les affleurements de grès qui structurent le relief se présentent, dans en rive gauche, par le front des couches et en rive droite par leur revers. Il semble alors que les sections développées sur les fronts subissent moins les agents responsables de l'érosion.

Mais malgré ces quelques différences, et à vrai dire contre toute attente, la carte des segments de paysages révèle en fait une organisation du milieu très proche entre ces deux rives. En effet, ces deux rives étaient considérées, au départ, comme clairement opposées en terme de structure et de formes du relief, mais aussi en terme de dynamique hydrique. Pourtant, elles apparaissent sur la carte des segments de paysages comme étonnamment symétriques en ce qui concerne les répartition et les successions des segments de paysages. Ainsi, depuis l'amont de la rive gauche comme depuis l'amont de la rive droite et en progressant toujours vers l'oued, les segments que nous rencontrerons se succèdent avec une grande régularité. En effet, seuls les quelques détails signalés précédemment amènent un peu de désordre dans cette organisation mais en règle générale nous rencontrons dans le paysage toujours la même succession :

Métaèdre acroédrique / Métaèdre supérieur / Métaèdre inférieur / Ectaèdre métaédrique / Métaèdre / Infra-métaèdre.

Ainsi, tous ces segments de paysages s'alignent parallèlement aux affleurements gréseux, ce qui tend une nouvelle fois leur importance dans la structuration du paysage de Kamech. Mais cela montre également une franche similitude dans les processus hydriques et érosifs passés et actuels qui interviennent au niveau de la mise en place et dans les dynamiques modernes de ce paysage. Les dynamiques hydriques et érosives auxquelles renvoie la carte des segments de paysages apparaissent alors comme identiques, même si nous pouvons considérer qu'elles sont plus marquées le long des séquences Q1 et Q4-Q4'.

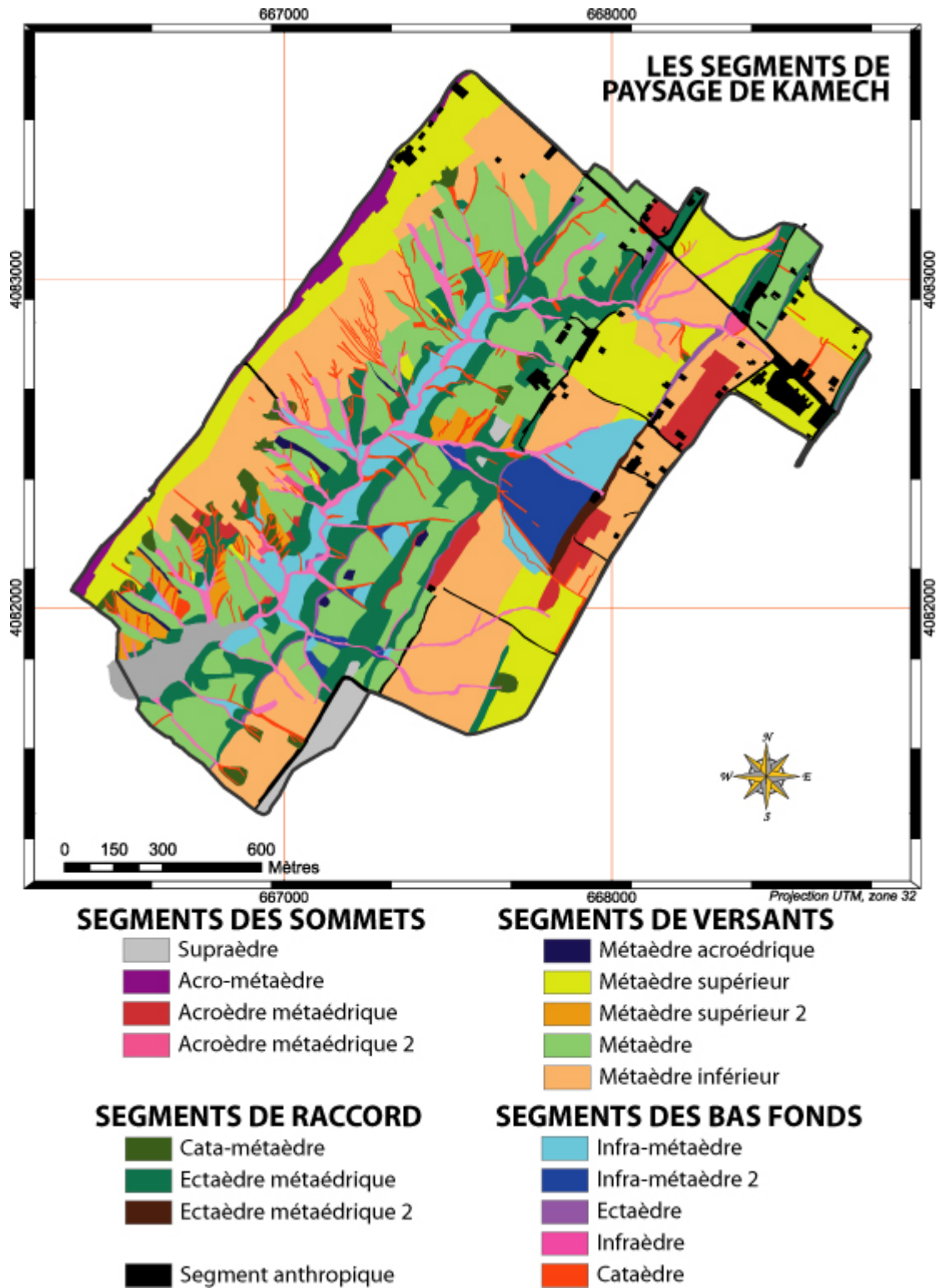


Figure 8.15 : La carte des segments de paysages de Kamech.

Tableau 8.1 : Les segments de paysages de Kamech.

<i>Segments de paysages</i>	<i>Systèmes de pentes</i>	<i>Principales organisations</i>	<i>Bilan de l'eau et de la matière</i>
<i>Segments anthropiques</i>	Constructions anthropiques durables (maisons, routes...)	... Multiples et variées...	Très ruisselantes, ces unités peuvent être la cause de dégâts érosifs importants lorsqu'elles se déversent ailleurs que dans un lit mineur d'oued
<i>Supraèdre</i>	Sommets plats, limités spatialement	Géon non observé du fait de sa grande rareté. Correspond vraisemblablement à des lambeaux de surface d'aplanissement	Dynamique autonome à faiblement érosive au niveau de ses limites
<i>Acro-métaèdre</i>	Lignes de crêtes convexes à pentes faibles. Extensions spatiales limitées.	Géons contrastés résultant de l'altération des tanolites et des régolites	Segments peu infiltrants mais peu ruisselants du fait de leurs faibles extensions latérales. Dynamique trans-érosive.
<i>Acroèdre métaédrique</i>	Buttes convexes allongées, pentes faibles	Géons régoliques marqués par une très forte altération des grès	Segments fonctionnant en autonomie. Infiltration importante, ruissellement et érosion limités
<i>Acroèdre métaédrique 2</i>	Successions de buttes et de dépressions, pentes faibles à fortes	Géons très contrastés, alternant avec la structure géologique	Dynamiques mixtes selon la nature du substrat. Érosif sur marnes, trans-accumulatifs sur grès
<i>Cata-métaèdre</i>	Têtes de ravins en forte pente, globalement rectiligne	Géons peu diversifiés et peu développés, absence de sols et de végétation	Concentration des flux hydriques, dynamique très érosive
<i>Ectaèdre</i>	Escarpements, ressauts... rectilignes et en très forte pente	Géons peu diversifiés et peu développés, absence de sols et de végétation	Très ruisselants et très érosifs
<i>Ectaèdre métaédrique</i>	Talus de profil convexo-concave en forte pente structurant le relief	Géons très contrastés, alternant en fonction de la position sur le versant : peu développée en amont et plus épais en aval	Dynamiques mixtes, dominante érosive sur l'amont et accumulative sur l'aval
<i>Ectaèdre métaédrique 2</i>	Talus courts et rectilignes, en forte pente et structurant le relief	Géons marqués par des formes d'altération de la roche et des sols colluviaux	Dynamique altéritique très prononcées dépendantes de l'acroèdre métaédrique en amont. Dynamiques trans-accumulatives
<i>Métaèdre acroédrique</i>	Sommets intermédiaires dans un contexte de collines arrondies, pentes rectilignes peu marquées	Géons très simples, se résumant le plus souvent à une mince couche de sol et la roche mère à proximité de l'affleurement	Dynamiques très érosives, parfois couplées à la mise en place d'une rigole sur la ligne de crête

<i>Métaèdre supérieur</i>	Versants long, moyennement inclinés et rectilignes	Géons simples, relativement développés et marqués par une importante dynamique pédogénétique.	Dynamique trans-érosive matérialisée par la mise en place d'écaillés traduisant des mouvements migratoires des sédiments le long des versants
<i>Segments de paysages</i>	<i>Systèmes de pentes</i>	<i>Principales organisations</i>	<i>Bilan de l'eau et de la matière</i>
<i>Métaèdre supérieur 2</i>	Versants courts, sur flancs de collines, moyennement inclinés	Géons simples peu développés. Absence de processus de formation des sols	Dynamique très érosive conduisant à un amincissement significatif de la profondeur des sols et à la formation de rigoles peu profondes
<i>Métaèdre</i>	Versants peu étendus en longueur et affichant des pentes fortes de profil convexo-concave.	Géons peu différenciés d'amont en aval, seule l'épaisseur des sols change de manière significative	Dynamiques mixtes allant de trans-érosives en amont à trans-accumulatives en aval.
<i>Métaèdre inférieur</i>	Versants long, moyennement inclinés et rectilignes	Géons simples, souvent bien développés et marqués par une importante dynamique pédogénétique.	Dynamique trans-accumulative conduisant à un épaissement progressif des sols
<i>Infra-métaèdre</i>	Versants faiblement inclinés et globalement rectilignes	Géons peu contrastés, marqués par des sols profonds et monotones, à phase hydromorphe	Dynamique accumulative couplée à un important drainage isoclinal permettant le maintien d'une nappe superficielle durable
<i>Infra-métaèdre 2</i>	Versants faiblement inclinés et globalement rectilignes	Géons peu contrastés, marqués par des sols profonds et monotones, à phase hydromorphe très marquée	Dynamique accumulative couplée à une saturation en eau quasi-pérenne sous la forme d'une nappe superficielle
<i>Infraèdre</i>	Segments du réseau hydrographique - lits mineurs des oueds	Les géons n'ont pas été mesurés en ces points du paysage : trop de structures différentes interviennent conduisant à de nombreux contrastes souvent très temporaires (d'une crue à l'autre...).	Les dynamiques peuvent être très érosives comme franchement accumulatives selon la période et le débit des crues
<i>Cataèdre</i>	Segments du réseau hydrographique - lits mineurs ravines	Géons simples, peu diversifiés, et peu développée. En ces lieux, le milieu se résume souvent à un affleurement de tanolite couvert d'une mince pellicule d'altération. La végétation est souvent absente ou peu présente	Dynamiques très érosives renforcées par un dense réseau hydrographique arborescent

CONCLUSION

Le dernier chapitre de cette thèse présente le découpage attendu du paysage de Kamech en segments de paysages et permet de répondre à notre problématique concernant le devenir de l'eau dans le milieu naturel. Les éléments de réponse qu'il apporte s'articulent autour de deux étapes utiles à la synthèse paysagère et à la modélisation spatiale des organisations de la géosphère.

Dans un premier temps, la mise en relation entre les systèmes de pentes et les types d'organisation verticale de la géosphère est réalisée au niveau des six toposéquences utiles à l'analyse du paysage de Kamech. Six figures interprétatives prennent alors forme : chacune d'elle représente une portion du paysage au travers des types de géons qui la caractérise et qui permet d'en déduire la dynamique globale. C'est de cette confrontation que naissent les segments de paysages : en fonction des rapports qui existent entre les systèmes topographiques et les types de milieu que ces unités spatiales sont déterminées. Au final, cette première étape de l'analyse permet de définir 14 segments de paysages au sein du bassin versant de Kamech et de les comparer entre eux au travers de leurs organisations et de leurs dynamiques respectives. Mais l'analyse va nettement plus loin car elle propose également une interprétation qualitative des dynamiques hydriques de ce paysage : la connaissance des chemins de l'eau est rendue possible à la fois par la connaissance des organisations qu'elle doit franchir lorsqu'elle entre dans la géosphère et par les liens qu'entretiennent les segments entre eux au niveau de la toposéquence. Sont ainsi définis les secteurs où le ruissellement domine nettement, ceux où les flux hydriques sont bloqués ou encore ceux où l'eau est retenue dans le milieu. Ces résultats sont fort intéressants car en plus de montrer comment progressent les flux dans le paysage, ils permettent également d'expliquer précisément les causes d'une progression particulière donnée.

La carte des segments de paysages n'apparaît que dans un second temps. Elle est réalisée en extrapolant les organisations mises en évidence au niveau de la toposéquence et en les rattachant aux facettes topographiques cartographiées au préalable.

La carte qui résulte de ces traitements n'est donc pas un simple parcellaire résultant d'un découpage arbitraire du milieu naturel. Elle s'appuie en effet sur une solide connaissance du milieu et permet en tout point d'en appréhender à la fois la structure du relief, les agencements verticaux qui y prennent place ainsi que les bilans de l'eau et de la matière qui les caractérisent. Il s'agit alors d'un réel modèle d'organisation permettant l'explication et l'analyse du milieu naturel et de ses flux pour un espace donné.

caractérisent. Les milieux kéritiques plus complexes permettent alors de matérialiser un géon supplémentaire, décrit par deux états ainsi qu'un nouveau géotope.

En dernier lieu les milieux tanoliques (61 % de l'ensemble des observations) prennent part à l'analyse. La recherche de modèles d'organisation de la géosphère dans ces ensembles est plus difficile que dans les deux cas précédents : la multiplicité des formes de l'infraplexion et les nombreux intergrades d'altération des marnes obligent à analyser ces milieux au travers des types de sols qui s'y développent. De cette manière les modèles créés s'articulent autour de deux grands axes : les milieux vertiques (en place et colluviaux), permettant la définition de trois géons (dont deux décrits par des états différents) et de trois géotopes ; et les milieux développés sur des sols bruns, déclinés en quatre entités (les espaces boisés, les versants d'El Hnach, les formes colluviales et les milieux rares). Pour chaque ensemble cité, au moins un géon, un géotope et plusieurs états sont décrits.

Procédant de cette manière, tous les relevés de milieu réalisés sur le terrain sont rattachés à l'ensemble dont ils sont le plus proches d'un point de vue structurel et dynamique tout en conservant un niveau de détail suffisant pour ne pas tomber dans la banalité... Mais outre l'aspect purement organisationnel mis en évidence par ces modèles de successions verticales, de nombreuses explications relatives aux cheminements de l'eau et aux transferts de matières sont réalisées. C'est d'ailleurs sur ces analyses des dynamiques hydriques et érosives que les modèles de cheminements des flux dans les paysages sont établis, en se basant sur un principe qui veut que chaque type d'organisation renvoie toujours (et dans une certaine mesure) aux mêmes comportements. Il ne reste donc désormais plus qu'à établir les modèles spatiaux d'organisation des paysages de Kamech, d'El Hnach et d'Abdeladim. Ces modèles se basent sur les deux entrées disponibles : les types de facettes topographiques formulées au chapitre IV et les modèles d'organisations verticales de la géosphères décrits dans ce chapitre.

TROISIEME PARTIE

CONCLUSION

La troisième et dernière partie de ce rapport permet la synthèse de tous les traitements et de toutes les analyses réalisées dans le cadre de cette thèse. Les deux chapitres qui prennent place dans cette partie permettent en effet d'amener progressivement à formuler les éléments d'explication relatifs à l'organisation de la géosphère, au cheminement des flux d'eau dans le milieu naturel et au final contribuent pleinement à l'élaboration du modèle d'organisation du milieu naturel annoncé au début de cet ouvrage.

Le septième chapitre de ce rapport présente et décrit les arrangements et les organisations verticales les plus typiques visibles au sein des paysages d'El Hnach, d'Abdeladim et de Kamech. Les successions qu'il met en évidence sont basées sur les résultats des traitements statistiques, réalisés dans la deuxième partie du rapport, et correspondent à ce titre aux formes d'organisation les plus fréquentes qu'il est possible de rencontrer dans ces trois bassins versants. A la base, une triple distinction apparaît : les paysages s'organisent en fonction des changements qui surviennent dans l'infraplexion. De ce fait, les modèles formulés pour représenter les agencements verticaux du milieu naturel s'appuient soit sur un substrat régolique, soit sur un substrat kéritique, soit enfin sur un substrat tanolique. Ils permettent ensuite, en fonction des ramifications qu'ils affichent, d'atteindre un niveau de détail plus ou moins important et par là de faire apparaître certaines nuances dont il convient de tenir compte lors de la segmentation des paysages. Cependant si ces modèles permettent déjà de nombreuses explications relatives à l'organisation et aux dynamiques du milieu naturel, ainsi que de multiples comparaisons entre les trois paysages, celles-ci sont encore réalisées dans un cadre aspatial.

Il faut en effet attendre le dernier chapitre pour que les considérations spatiales et organisationnelles soient mises en relation : ce chapitre permet le rapprochement entre les types de facettes topographiques et les géons de la géosphère dans le but de produire la carte des segments de paysages ainsi que l'ensemble des documents qui permettent son interprétation. A l'heure actuelle, la seule carte des segments de paysages disponible est celle de Kamech. Elle permet la mise en évidence de 18 types de segments de paysages qui se répartissent à la surface de ce bassin versant. Ceux-ci sont globalement alignés suivant la disposition des affleurements de grès et apparaissent, d'une rive à l'autre, de façon symétrique par rapport à l'oued principal. Mais au-delà des considérations organisationnelles générales, la carte produite, et l'ensemble des documents qui servent à son élaboration, autorise une analyse très fine des dynamiques que l'on peut retrouver à la surface de ce paysage. Il est ainsi possible, en se basant sur les successions spatiales des segments, de formuler des modèles interprétatifs permettant de matérialiser, mais surtout d'expliquer le devenir de l'eau dans ce paysage. Aussi, l'approche réalisée permet bien de répondre à notre problématique même si quelques critiques doivent être formulées.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'étude qui s'achève ici cherche à comprendre et à expliquer le devenir des flux d'eau entrant dans la géosphère, en se basant sur une analyse fine des organisations du milieu naturel. L'idée de départ était de mettre en œuvre un *modèle cartographique explicatif* capable de tenir compte des structures verticales et latérales de la géosphère dans le découpage du milieu qu'il réalise et d'exprimer en terme de flux les ensembles ainsi discrétisés. Pour répondre à cette problématique cette thèse s'attache à définir, pour trois petits bassins versants jugés représentatifs de la dorsale tunisienne, des entités spatiales nommées segments de paysages. Du fait des méthodes permettant leur mise en œuvre, qui consistent à prendre en compte l'ensemble des variables paysagères rencontrées dans le milieu naturel, ces segments de paysages sont la base nécessaire à la formulation d'un *modèle de système* permettant, en tout point d'un espace donné, d'appréhender la structure spatiale du milieu naturel et d'en déduire l'impact sur les cheminements de l'eau. La définition des segments de paysages nécessite alors une double détermination : celle de leurs cadres topographiques d'une part et celle de leurs contenus d'autre part. Elle impose donc un double travail sur le terrain.

L'approche choisie pour caractériser les segments de paysages au sein des trois petits bassins versants a consisté, dans une première phase de travail de terrain, à rechercher et à répertorier l'ensemble des facettes topographiques qu'il est possible de rencontrer dans ces espaces. Ainsi sur les trois petits bassins versants chaque portion d'espace isomorphe de plus de 10 mètres de long fut recensée et décrite en fonction de ses paramètres topographiques élémentaires (pente, altitude et orientation). Le travail de terrain, réalisé par des opérateurs différents, a alors permis l'identification de quelques 1305 facettes topographiques sur le paysage de Kamech, 407 sur Abdeladim et 519 sur El Hnach. Chacune des facettes identifiées correspond, dans une certaine mesure, à un segment de paysage à part entière. Mais la définition de ces derniers ne peut se limiter à seulement quelques paramètres chiffrés : elle se doit de prendre en compte, dans le découpage qu'elle opère, toutes les composantes du milieu naturel ainsi que leurs organisations afin d'assurer une représentation la plus fidèle possible de chaque segment dans la représentation finale. Cela impose donc de réaliser un second travail de terrain avec pour but cette fois de relever, en s'appuyant sur les règles de l'analyse du milieu naturel fixées dans le cadre de l'ATM, tous les matériaux, même les plus infimes, qui apparaissent de manière tangible dans le milieu. Au cours de cette seconde phase de terrain, ce sont alors quelques 130 relevés de milieu, permettant l'identification de quelques 15000 composantes de la géosphère réparties dans 1425 hoplexols qui sont identifiés et qui permettent, au terme des analyses, d'attribuer un contenu aux segments mis en évidence.

Toutefois, le volume d'information disponible est bien trop important pour permettre une analyse pertinente des structures paysagères et de leurs impacts sur les cheminements de l'eau. Les données brutes sont alors traitées au travers de deux séries de traitements typologiques distinctes :

- La première cherche à établir quelques types de facettes topographiques qui permettent de fixer les limites spatiales des segments de paysages et de les inscrire dans les dynamiques directement impulsées par les changements dans le relief. Ainsi, seulement six types d'enveloppes topographiques apparaissent sur Kamech et Abdeladim tandis qu'El Hnach, plus complexe de ce point de vue en compte 8.

- La seconde permet d'établir des types d'hoplexols puis des types de relevés afin de synthétiser l'information disponible sur l'organisation de la géosphère et donc sur le contenu des segments de paysages. Ainsi, ce sont 46 types d'hoplexols qui autorisent la définition d'une quarantaine de types de relevés utiles à la caractérisation d'autant de types de géons et de géotopes qui prennent place pour expliquer les organisations verticales dans les segments de paysages.

Les résultats obtenus, suite à ces traitements statistiques, sont des résultats intermédiaires. A ce titre, ils n'offrent pas encore une vision globale des organisations spatiales dans les paysages retenus, même s'ils permettent déjà de nombreuses interprétations concernant les dynamiques hydriques et érosives du milieu naturel. Cette vision globale et l'analyse du paysage qu'elle autorise apparaissent avec la synthèse paysagère qui consiste d'abord à mettre en relation, le long des toposéquences puis en extrapolant à l'ensemble du paysage, les facettes topographiques et les types de géons définis statistiquement. Malheureusement, cette synthèse n'est disponible pour l'instant que pour le paysage de Kamech.

Les modèles réalisés à la fin de ces traitements présentent les résultats de trois manières différentes. Les deux premières représentations s'affichent sous la forme de coupes: elles correspondent à la segmentation du paysage et à l'interprétation du cheminement de l'eau dans le milieu naturel. A ce titre, elles permettent de comprendre comment les organisations verticales se succèdent le long des profils topographiques et, à partir de là, d'analyser très finement et très précisément les dynamiques érosives ainsi que le cheminement des flux d'eau dans le milieu naturel. Suivant l'axe vertical en premier, les flux matérialisés permettent d'estimer l'impact des structures rencontrées au cours de la progression de l'eau dans le milieu. Selon l'axe horizontal, l'analyse des organisations paysagères permet de matérialiser les espaces propices à accueillir une nappe d'eau temporaire, les espaces où les flux sont bloqués ou au contraire ceux où ils se trouvent accélérés, et là où ils se cumulent d'amont en aval pour accroître le ruissellement.

Le troisième mode de représentation est la carte des segments de paysages. C'est le document final de cette thèse, celui qui permet d'appliquer les connaissances acquises au niveau des coupes à l'ensemble du paysage. La spatialisation des résultats fait alors apparaître les 18 types de segments de paysages dégagés des analyses pour le bassin versant de Kamech et met ainsi en évidence les organisations de ce paysage. La carte des segments de paysages fait apparaître au sein de cet ensemble une structure originale qui n'a jamais été véritablement révélée dans le cadre des études antérieures réalisées sur ce bassin : celle de la quasi symétrie de ses versants et d'une organisation globale qui se répète à l'identique d'une rive à l'autre, pourtant très différentes en première approximation. Malheureusement, le modèle proposé n'a pas fait l'objet de validation. La procédure est pourtant simple car il suffirait de réaliser quelques relevés supplémentaires pour voir si les organisations qu'ils révèlent sont conformes avec l'organisation type qui définit leur espace. Mais pour pouvoir être réalisée, cette procédure nécessite de retourner sur le terrain en Tunisie, ce qui n'est pas envisageable dans l'immédiat.

Enfin, les applications qu'une telle carte propose sont multiples. D'abord rien qu'au niveau de l'interprétation directe, elle renvoie à l'explication de toutes les organisations rencontrées dans le milieu naturel. Mais outre cet aspect elle offre également, du fait des unités qu'elle décrit, la possibilité d'être utilisée comme base pour faire fonctionner un modèle de simulation du ruissellement semi-distribué couplant les aspects prédictifs et les aspects explicatifs, permettant ainsi d'atteindre un objectif qui semble très important : celui de *prévoir en expliquant...*

BIBLIOGRAPHIE

Ambroise B., 1995. Topography and the water cycle in a temperate middle mountain environment : the need for interdisciplinary experiments. *Agricultural and forest meteorology*, Elsevier, number 73, pp 217 – 235.

Ambroise B., 1998. *La dynamique du cycle de l'eau dans un bassin-versant. Processus, facteurs, modèles*. Editions *H*G*A*, Collection Tempus, Bucarest, 200 p.

Aubert G., et Boulaine J., 1967. *La pédologie*, Que sais-je ?, presses universitaires de France, Paris, 126 p.

Beaudou & al., 1978. Recherche d'un langage transdisciplinaire pour l'étude du milieu naturel (tropiques humides). *Travaux et Documents de l'ORSTOM*, 91, Paris.

Beroutchachvili N., Richard J-F., 1975. *Aspects traditionnels et aspects modernes dans la « science du sol » en Union Soviétique*. ORSTOM, Audiopodoumé, 10 p.

Bertrand, 1978. Le paysage entre la nature et la société. *Rev.géogr,Pyrénées et S.O.*, 49, 2, p239-258, Toulouse.

Betson R.P., 1964. What is watershed runoff ? *Journal of Geophysical Research*, number 69, pp 1541 – 1552.

Blanc-Pamard C., 1986. Dialoguer avec le paysage ou comment l'espace écologique est vu et pratiqué par les communautés rurales des hautes terres malgaches, pp 17 – 35. . In. Chatelin Y., et Riou G., 1986. *Milieux et paysages, essais sur diverses modalités de connaissances*. Masson, Recherches en Géographie, Paris, 154 p.

Bois p. et Lebel T., 1986. Modélisation stochastique de la relation pluie-débit. *Journées hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier, 17 – 18 septembre 1985*. Laboratoire d'hydrologie de l'ORSTOM, Montpellier, pp. 272 – 290.

Bougères J., 1976. *Sanbo'naï, la perception du paysage chez les Peuls*. Projet Pilote UNESCO, Ouagadougou, Haute Volta, 121p.

Boulaine J., 1957. *Les sols des plaines du cheli*, Alger, S.C.h.S.E.S

Bouroche & Saporta, 1980. L'analyse des données. Collection "Que sais-je", n°1854, PUF Paris.

Brunet R., Ferras R. et Théry H., 1993. *Les mots de la géographie, dictionnaire critique. Troisième édition revue et augmentée*. Montpellier-Paris : Reclus - La Documentation Française, 520 p. (Troisième édition).

Burnett C., Blaschke T., 2003. A multi-scale segmentation / object relationship modelling methodology for landscape analysis, *Ecological Modelling*, 233-249 p.

- Cappus P., 1960. Bassin expérimental d'Alrance – étude des lois de l'écoulement – application aux calculs et à la prévision des débits. *La Houille Blanche*, numéro A, pp 493 – 520.
- Carbonnel J-P. et al., 1996. [En ligne]. *Dictionnaire français d'hydrologie*. Site Internet du Comité National Français des Sciences Hydrologiques, Commission de Terminologie. Mise à jour Février 2003.
<http://www.cig.ensmp.fr/~hubert/glu/indexdic.htm>
- Cattell R.B., 1966. The scree test for the number of factors. *Mult. Behavioral Research*, 1, pp. 245-276
- Campy M. & Macaire J.J., 1989. *Géologie des formations superficielles, géodynamique – faciès – utilisation*. Masson, Paris, 431 p.
- Chatelin Y, 1978. Les moyens de l'. .In. Beaudou A.G. et al., 1978. *Recherche d'un langage transdisciplinaire pour l'étude du milieu naturel (tropiques humides)*. Travaux et documents de l'ORSTOM numéro 91, pp 103 – 116.
- Chatelin Y et Riou G.,1986. *Milieux et paysages*, Masson, Paris, New York, Barcelone, Milan, Sao Paulo, Mexico,35p
- Chow V.T., Maidment D.R. and Mays L.W., 1998. *Applied hydrology*. McGraw-Hill series in water resources and environmental engineering, USA, 572 p.
- Collinet J. et Testouri-Jebbari S., 2000. *Etude expérimentale du ruissellement et de l'érosion sur les terres agricoles de Siliana (Tunisie)*. INRGREF, Direction des sols, IRD Tunis, 45 p + annexes.
- Coque R., 1993. *Géomorphologie*, Paris, 502p.
- Conacher A.J. and Dalrymple J.B., 1977. The nine-unit land surface model : an approach to pedogeomorphic research. *Geoderma*, 18 ½, special issue, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, pp 1 – 154.
- GCTE, 1986. [En ligne]. *GCTE focus 3, Soil Erosion Network*. Core project of the International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP), international an international scientific research programme established in 1986 by the International Council of Scientific Unions (ICSU).
IGBP-GCTE website : <http://www.gcte.org/>
Soil erosion network website : <http://www.soilerosion.net/sen/>
- Da Lage A. et Métaillé G., 2000. *Dictionnaire de biogéographie végétale*. CNRS Editions, Paris, 579 p.
- Dalrymple J.B., Blong R.J. and Conacher A.J, 1968. *A hypothetical nine-unit landsurface model*. *Z. Geomorphol.* 12, pp 60 – 76.
- De Lagarde J.,1983. *Initiation à l'analyse des données*. Dunod, Paris, 157p.

- Derruau.M., 1988. *Précis de géomorphologie*. Masson, Paris, Milan, Barcelone, Mexico, 533p.
- Duchaufour P., 1970. *Précis de pédologie*. Troisième édition entièrement refondue, Masson et Compagnie Editeurs, Paris, 481 p.
- Duchaufour P., 2001. *Introduction à la science du sol, Sol – Végétation – Environnement*. Sixième édition de l'abrégé de pédologie, Dunod, Paris, 331 p.
- Durand-Dastès F., 1995. Les modèles en Géographie, pp 293 - 307. .In. Bailly A., Ferras R. et Pumain D., 1995. *Encyclopédie de la Géographie*. ADAGP, Economica, Paris.
- Erhart H.,1967. *La génèse des sols en tant que phénomène géologique*, Masson et cie, Paris,165p.
- Filleron J-C., 1978. Eléments pour une diagnose des formes du relief. .In. Beaudou A.G. et al., 1978. *Recherche d'un langage transdisciplinaire pour l'étude du milieu naturel (tropiques humides)*. Travaux et documents de l'ORSTOM numéro 91, pp 103 – 116.
- Filleron J-C., 1995. *Essais de géographie systématique : les paysages du nord-ouest de la Côte d'Ivoire*. Thèse de Doctorat d'Etat ès Géographie, Université de Toulouse-Le Mirail, 2 volumes, 1547 p + annexes.
- Filleron J-C. & Richard J-F., 1974. *Recherches sur les paysages subsoudanais. Les géosystèmes de la région d'Odienné*. Annales univ Abidjan, G.VI, p.103-168
- Fox D.M., and Bryan R.B., 1999. The relationship of soil loss to slope angle for interrill erosion, *Catena* 38:211-222.
- Foucault A. et Raoult J.F., 1996, *dictionnaire de la géologie*, Masson, Paris,Milan, Barcelone, 324p.
- Genest, Claude G., 2000. *Dictionnaire de géomorphologie*, Société de Géographie de la Mauricie Inc. Editeur, Trois-Rivières, Province de Quebec, Canada, 437p.
- Girard G., Morin G. et Charbonneau R., 1972. Modèle précipitation-débit à discrétisation spatiale. *Cahiers de l'ORSTOM, Série Hydrologie*, Volume IX, numéro 4, pp 35 – 52.
- Green & Ampt 1911. Studies in soil physics : 1.Flow of air and water through soils. *J.Agric. Sci.*4,1-24
- Hénin S., 1977. *Cours de physique du sol, tome II – L'eau et le sol, les propriétés mécaniques, la chaleur et le sol*. ORSTOM – EDITEST, Paris – Bruxelles, 221 p.
- Hewlett J.D., 1961. Watershed management. .In. *Annual report 1961, USDA Forest Service, South eastern Forest Experiment Station*, Asheville, NC, pp 61 – 66.
- Horton, 1933. The role of infiltration in the hudrological cycle. *Trans. Amer. Geophys. Union*. 14,446-460

- Ingram J., Lee J., and Valentin C., 1996. The GCTE Soil Erosion Network : a multi-participatory research program. *Journal of Soil and Water Conservation*, Volume 51, Issue 5 ; Academic Research Library, pp 377 – 380.
- Jetten V., de Roo A., Favis-Mortlock D., 1999. Evaluation of field-scale and catchment-scale soil erosion models, *Catena*, Elsevier, 521-541 p.
- Khébour F., Labiadh M., Richard J-F. et Temple-Boyer E., 2002. *Une typologie des petits bassins-versants de la Dorsale Tunisienne, étude préliminaire*. DG-ACTA, INRGREF et IRD, Tunis, 9 p + CD-Rom.
- Kirkby M.J., Imeson A.C., Bergkamp G. and Cammerat L.H., 1996. Scaling up processes and models from the field plot to the watershed and regional areas. *Journal of Soil and Water Conservation*, Volume 51, Issue 5 ; Academic Research Library, pp 391 – 396.
- Laborde J.P., 2000. *Hydrologie support de cours*. Université de Nice Sophia-Antipolis, Centre National de la Recherche Scientifique, ENGEEES.
- Lebart L., Morineau A. & Piron M., 2004. *Statistiques exploratoire multidimensionnelle 3eme édition*, DUNOD, Belgique, 438p.
- Lenhart T., et al., 2005. Considering spatial distribution and deposition of sediment in lumped and semi-distributed models, *Hydrological Processes*, 785-794.
- Li Zhang et al., 1996, Modelling approaches to the prediction of soil erosion in catchments, *Environmental Software*, 123-133 p.
- LISAH, 2004. [En ligne]. *Le bassin versant de KAMECH (2,45 km²) et le bassin versant du LEBNA (210 km²) en Tunisie*. Site de présentation de l'UMR LISAH (Laboratoire d'étude des Interactions entre Sols, Agrosystèmes et Hydrosystèmes). Première consultation Octobre 2005.
<http://sol.ensam.inra.fr/lisah/index.php?lang=fr&page=xpsites&doc=kamech>
- Lozet J., Mathieu C., 1997. *Dictionnaire de sciences du sol*. Troisième édition mise à jour et augmentée, Lavoisier Techniques et Documentations, Paris – Londres – New-York, 487 p.
- Marchal J-Y., 1983. *Yatenga Nord Haute Volta, La dynamique d'un espace rural Soudano-Sahélien*. Travaux et documents de l'ORSTOM, numéro 167, 871 p.
- Meyer R., 1987. *Paléosols et paléosols l'empreinte du continent dans les séries sédimentaires*, bureau de recherches géologiques et minières, Manuels et méthodes n°13, BRGM éditions, Orléans, 163p.
- Mori A., 1970. Les sols vertiques, les vertisols et les sols tirsifiés de la Tunisie du Nord, *ORSTOM*.
- Morschel J., Fox D.M. et Richard J-F. - 2006. Cartographie des chemins de l'eau dans un paysage semi-aride de la Dorsale Tunisienne. Poster présenté à l'occasion de la conférence UNESCO *The Future of Drylands Conference*, 19 - 21 juin 2006, Tunis Tunisie. [Résumé en ligne] <http://www.unesco.org/mab/ecosyst/futureDrylands.shtml>

- Morschel J., Temple-Boyer E., Allouch-Khébou F., Labiadh M. et Richard J-F., 2005. Les segments et les saisons de paysage : exemple d'un paysage aride de la Dorsale Tunisienne. *Revue Caucasienne de Géographie*, Société Géographique de Géorgie (Union Géographique Internationale), Tbilissi, 5, pp 3 – 14.
- Musy A., et Higy C., 2004. *Hydrologie, 1 - Une science de la nature*. Presses Universitaires et Polytechniques Romandes, Collection Gérer l'Environnement, numéro 21, Lausanne, 314 p.
- Musy A., et Soutter M., 1991. *Physique du sol*. Presses Universitaires et Polytechniques Romandes, Collection Gérer l'Environnement, numéro 6, Lausanne, 334 p.
- NDIAYE A.L., 1995. *Étude et cartographie des paysages de la Grande Côte Sénégalaise. Applications à la mise en valeur et à la conservation des ressources naturelles*. Thèse de Géographie, ORSTOM, Université Chheikh Anta Diop de Dakar, 1995, 508 p., 119 fig. (dont 6 cartes couleurs à 1:500000), 1 carte couleurs H.T. à 1:200000
- ORE OMERE, 2005. [en ligne]. *Le bassin-versant de Kamech (2,45 km²) en Tunisie*. Site de présentation de l'ORE OMERE (Observatoire Méditerranéen de l'Environnement Rural et de l'Eau). Première consultation, octobre 2005.
<http://sol.ensam.inra.fr/omere/index.php?lang=fr&page=xpsites&doc=kamech>
- Park S.J., 2004, soil-landscape delineation to define spatial sampling domains for hillslope hydrology, *Journal of hydrology*, 28-46 p
- Rambaud D. et Waechter F., 2001. *Diagnostics pour l'étude du milieu, mise à jour et compléments*. Note technique interne, Montpellier, 77p.
- Réménieras G., 1976. *L'hydrologie de l'ingénieur*. Deuxième édition revue et augmentée (nouveaux tirages 1980, 1986 et 1999). Editions Eyrolles, Collection de la division Recherche et Développement d'Electricité de France, numéro 6, Paris, 456 p.
- Renard K.G. et al., 1997. *Predicting soil erosion by water : a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. USDA agricultural research service, agriculture handbook number 703, 384 p.
- Rey-Debove J., et al., 1993. *Le nouveau Petit Robert*. Edition entièrement revue et amplifiée du Petit Robert. Dictionnaire le Robert, 60000 mots répertoriés.
- Riahi O., 2005. *Etude de l'érosion et de l'évolution des paysages par l'élaboration d'un système d'informations géographiques*, Diplôme de Master en géographie option : géomorphologie et Environnement, 149p.
- Richard J-F., 1978. La constitution d'un schéma intégrateur transdisciplinaire. . In. Beaudou A.G. et al., 1978. *Recherche d'un langage transdisciplinaire pour l'étude du milieu naturel (tropiques humides)*. Travaux et documents de l'ORSTOM numéro 91, pp 55 – 72.
- Richard J-F., 1989. *Le paysage, un nouveau langage pour l'étude des milieux tropicaux*. Thèse de doctorat d'état ès Lettres et Sciences Humaines. Editions de l'ORSTOM, collection Initiations – Documentations techniques n° 72, Paris. 209 p.

- Richard J-F., 2002. *Note sur l'étude globale du milieu physique, la géosphère en particulier dans ses rapports avec le cycle de l'eau et de la matière*. Note technique numéro 1, IRD-Tunis, 8 p.
- Richard et al., 2005. [DVD rom]. *L'eau et le paysage dans la Dorsale Tunisienne*. Institut de Recherche pour le Développement, UMR LISAH. IRD Tunis, Juillet 2005.
- Richard J-F., Beroutchachvili N., 1996. Vers l'élaboration d'un système d'information sur les paysages du monde. *In Cah. Sci. Hum.* 32 (4).pp823-842
- Richard J-F., Filleron J-C., Beroutchachvili N., 1997. *Géographie comparée : la science du paysage*. [en ligne]. <http://perso.wanadoo.fr/paysage>
- Richard J-F. et Jenhaoui Z., 2001. [CD-Rom]. *Les lacs collinaires de Tunisie, une présentation des annuaires hydrologiques des lacs collinaires*. Document réalisée à l'occasion du séminaire international « les petits barrages dans le monde méditerranéen ». Tunis.
- Richard J-F., Kahn F. et Chatelin Y., 1977. Vocabulaire pour l'étude du milieu naturel (tropiques humides). *Cahiers de l'ORSTOM, série Pédologie*, Volume XV, numéro 1, pp 43-62.
- Riou G., 1989. *L'eau et les sols dans les géosystèmes tropicaux*, Masson, Paris, Milan, Barcelone, Mexico, 221p
- Roche M., 1971. Les divers types de modèles déterministes. *La Houille Blanche*, Numéro 2-1971, pp 111 – 129.
- Rougerie G., 1988. *Géographie de la géosphère*, Paris, Collin
- Rougerie G., Beroutchachvili N., 1991. *Géosystèmes et Paysages, bilan et méthodes*. Armand Colin Editeur, collection U géographie, Paris. 302 p.
- Sanders L., 1989. *L'analyse statistique des données en géographie*. Montpellier, GIP RECLUS (Col. Alidade), 267 p.
- Sautter G., 1983. *Les environnements et leur maîtrise humaine*. Kenzo Fujiwara (ed), Research and sources unit for regional geography, University of Hiroshima, Special Publication number 14, 282 p.
- Tricart J., 1977. *Précis de géomorphologie tome II Géomorphologie dynamique générale*, Paris, 345p
- XLStat help, 2006. Fichier d'aide du logiciel XLSTAT
- Wysocki, D.A., Schoeneberger, P. J. and LaGarry H. E., 2000. Geomorphology of Soil Landscapes. . In. Sumner M. E. and Malcom E., 2000. *Handbook of Soil Science*. CRC Press, New York. p.E8 - E10.
- Zante P. et Collinet J., 2001. Cartographie des risques érosifs sur le bassin-versant de la retenue collinaire d'El Hnach (dorsale tunisienne). IRD Tunis, 50 p + annexes.

Tables des figures

Figure 1.1 : Le réseau de retenues collinaires en Tunisie, près de 1000 barrages construits une quinzaine d'années.....	16
Figure 1.2 : Typologie des bassins versants.....	17
Figure 1.3 : Le bassin versant de Kamech, vue depuis l'aval - en arrière plan : Jebel Sidi Abd Er Rahmane.....	18
Figure 1.4 : Le bassin versant d'El Hnach, paysage typique du monde méditerranéen sub-aride, relief de commandement et glacis, encroûtés ou non.....	20
Figure 1.5 : Le bassin versant d'Abdeladim vu depuis l'aval. Un paysage simple et organisé suivant le modèle « montagne / piémont / plaine ».....	21
Figure 2.1 : Prophyse (Coni-prophyse) et stylagé.....	25
Figure 2.2 : Paliphyse (Coni-paliphyse), stylagé et dendrigé.....	26
Figure 2.3 : Gramen anthropique à répartition isocline.....	27
Figure 2.4 : Gramen phlogoïde et nécro-gramen unicloïde.....	27
Figure 2.5 : Nanophytion (et macroépilite).....	28
Figure 2.6 : Nanophytion (et dermilite), répartition mastocline.....	28
Figure 2.7 : Pénéphytion.....	29
Figure 2.8 : Dermilite et nécrophytion.....	30
Figure 2.9 : Mesoépilite et macroépilite.....	30
Figure 2.10 : Nécrophytion et nécrumite.....	31
Figure 2.11 : Régolite calcaireux en affleurement.....	32
Figure 2.12 : Tassikérîte et tanolite marneux affleurant (vue d'ensemble), lambeaux de glacis fossilisé par croûte calcaire.....	33
Figure 2.13 : Tassikérîte surmontant un tafékérîte.....	33
Figure 3.1 : Le milieu naturel d'El Hnach et ses hoplexols.....	45
Figure 3.2 : Du relevé de milieu au modèle de succession vertical.....	49
Figure 3.3 : Eléments utiles à la diagnose des segments de paysage.....	53

Figure 3.4 : la synthèse paysagère du matériau au paysage.....	56
Figure 4.1 : Les 1305 facettes topographiques retenues sur le bassin versant de Kamech.....	64
Figure 4.2 : Les données quantitatives caractérisant les facettes topographiques de Kamech.....	65
Figure 4.3 : Comparaison entre les valeurs de pente mesurées et les valeurs de pente moyennes calculées à partir du MNT.....	66
Figure 4.4 : Les données qualitatives caractérisant les facettes topographiques de Kamech...	67
Figure 4.5 : Les 417 facettes topographiques retenues sur le bassin versant d'Abdeladim.....	69
Figure 4.6 : Variables quantitatives et qualitatives caractérisant le bassin versant d'Abdeladim.....	70
Figure 4.7 : Variables quantitatives caractérisant le bassin versant d'El Hnach.....	72
Figure 4.8 : Chaîne des traitements pour la typologie des facettes topographiques.....	75
Figure 4.9 : Agglomération progressive de cinq points selon les algorithmes de la CAH et construction du dendrogramme.....	78
Figure 4.10 : Les étapes de l'algorithme de classification autour des centres mobiles.....	79
Figure 4.11 : L'algorithme de la classification mixte.....	80
Figure 4.12 : Analyse en Composantes Principales ; projection des variables (altitude, pente et orientation) sur les axes factoriels pour le bassin versant d'Abdeladim.....	82
Figure 4.13 : Analyse en Composantes Principales ; projection des individus (facettes topographiques) sur les axes factoriels pour le bassin versant d'Abdeladim.....	82
Figure 4.14 : Profils représentatifs de l'organisation topographique du bassin versant d'Abdeladim.....	84
Figure 4.15 : Les 13 scénarios faisant varier la méthode de classification et le nombre de classes en vue d'établir une typologie des facettes topographiques sur le bassin versant d'Abdeladim.....	85
Figure 4.16 : Les types de facettes topographiques du bassin versant. Résultat corrigé, obtenu après application d'une classification autour des centres mobiles de type K-means.....	87
Figure 4.17 : Analyse en Composantes Principales ; projection des variables (altitude, pente et orientation) sur les axes factoriels pour le bassin versant de Kamech.....	89
Figure 4.18 : Analyse en Composantes Principales ; projection des individus (facettes topographiques) sur les axes factoriels pour le bassin versant de Kamech.....	90

Figure 4.19 : Agencements topographiques suivant l'axe perpendiculaire aux couches géologiques.....	91
Figure 4.20 : profils longitudinaux développés sur le revers des couches géologiques (versant rive droite).....	92
Figure 4.21 : Profils longitudinaux développés sur le front des couches géologiques.(Versant rive gauche).....	93
Figure 4.22 : Les treize scénarios faisant varier la méthode de classification et le nombre de classes en vue d'établir une typologie des facettes topographiques sur le bassin versant de Kamech.....	96
Figure 4.23 : Classification retenue (après corrections manuelle) pour la typologie des facettes topographiques de Kamech.....	97
Figure 4.24 : Agencement topographique du bassin versant d'El Hnach suivant un axe est nord-est / ouest sud-ouest.....	101
Figure 4.25 : Agencement topographique du bassin versant d'El Hnach suivant un axe nord nord-ouest / sud sud-est (I).....	103
Figure 4.26 : Agencement topographique du bassin versant d'El Hnach suivant un axe nord nord-ouest / sud sud-est (II).....	104
Figure 4.27 : les différentes classifications testées pour le bassin versant d'El Hnach.....	106
Figure 4.28 : Classification établie manuellement en vue de réaliser la typologie des facettes topographiques sur le bassin versant d'El Hnach.....	108
Figure 5.1 : Positionnement des relevés le long d'une toposéquence (Kamech, toposéquence 1).....	114
Figure 5.2 : Modèle de Fiche Horent, utile à la collecte des composantes du milieu naturel identifiées dans chaque hoplexol.....	117
Figure 5.3 : Représentation du milieu naturel le long de la première toposéquence de Kamech.....	118
Figure 5.4 : Un exemple d'interprétation réalisé à partir des relevés de milieu et de leur suivi le long de la première toposéquence de Kamech.....	119
Figure 5.5 : localisation des toposéquences et des relevés sur le bassin versant d'Abdeladim.....	121
Figure 5.6 : Localisation des toposéquences et des relevés pour le bassin versant de Kamech.....	124
Figure 5.7 : Localisation des toposéquences et des relevés pour le bassin versant d'El Hnach.....	127

Figure 5.8 : la chaîne des traitements suivie pour l'établissement des types de géons et des segments de paysages.....	130
Figure 5.9 : Exemple de segmentation du paysage le long d'une toposéquence.....	132
Figure 5.10 : Représentation schématique de la mise en forme des données utiles à l'établissement des tables de contingence sur lesquelles s'appuient les traitements numériques réalisés en vue de définir les types d'hoplexols des différents paysages pris en compte.....	134
Figure 5.11 : Exemple d'AFC où les axes F1 et F2 sont caractérisés par une seule variable.(Points rouges : variables ; points bleus : individus).....	136
Figure 5.12 : Exemple d'AFC où les axes F1 et F2 sont caractérisés par plusieurs variables (Points rouges : variables ; points bleus : individus).....	137
Figure 5.13 : Test de Cattell, décroissance des valeurs propres des axes factoriels (supraplexion). La rupture intervient entre F2 et F3... mais il convient de prendre également en compte F4 pour plus de sûreté quant aux résultats des traitements.....	138
Figure 5.14 : Les types d'hoplexols (hoplexols majeurs) du supraplexion.....	139
Figure 5.15 : Les hoplexols majeurs du métaplexion supérieur (U).....	140
Figure 5.16 : Les groupes d'hoplexols où le kortophytion (toutes formes confondues) est majoritaire... Mise en évidence de 9 groupes d'hoplexols supplémentaires.....	147
Figure 5.17 : Les groupes d'hoplexols pour lesquels l'aérophyse est toujours majoritaire. Mise en évidence de 15 groupes d'hoplexols.....	149
Figure 5.18 : Les premiers groupes d'hoplexols du métaplexion strict (T).....	162
Figure 5.19 : Groupes d'hoplexols dans le métaplexion strict (les hoplexols positifs).....	165
Figure 5.20 : Les groupes d'hoplexols de la surface du sol (hoplexols négatifs), la majorité d'épilites (toute tailles confondues).....	167
Figure 5.21 : Les groupes d'hoplexols de la surface du sol (hoplexols négatifs), la majorité de microépilites (en association avec d'autres matériaux).....	168
Figure 5.22 : Les premiers groupes d'hoplexols du métaplexion inférieur.....	193
Figure 5.23 : Les premiers groupes du métaplexion inférieur (axe F9 à F15).....	195
Figure 5.24 : Les premiers groupes du métaplexion inférieur (axes F17 et F18, F20 à F23, F26 et F28).....	197

Figure 5.25 : Seconde étape de l'analyse, résultats de l'AFC sur la table de contingence reformulée.....	202
Figure 5.26 : Les hoplexols vertiques à dynamique colluviale.....	203
Figure 5.27 : Les sols bruns à dynamique colluviale.....	205
Figure 5.28 : Groupes d'hoplexols dans l'ensemble caractérisé par des sols bruns en place.....	206
Figure 5.29 : Inerties et nombre d'axes à retenir pour l'analyse.....	226
Figure 5.30 : Les premiers groupes d'hoplexols de l'infraplexion.....	227
Figure 5.31 : Les différentes formes de l'alté-tanolite marneux.....	230
Figure 5.32 : La différenciation des formes dans l'isaltérite marneux.....	232
Figure 5.33 : Les croûtes et encroûtements calcaires.....	233
Figure 5.34 : Modèle théorique estimé des temporalités de l'altération des tanolites marneux.....	239.
Figure 6.1 : La chaîne des traitements suivie pour l'établissement des types de géons et des segments de paysages.....	248
Figure 6.2 : Représentation schématique de la mise en forme des données utiles à l'établissement de la table de contingence sur laquelle s'appuient les traitements numériques réalisés en vue de définir les états de la géosphère.....	249
Figure 6.3 : Les premiers relevés extraits de l'analyse numérique.....	252
Figure 6.4 : Mise en évidence de groupes de relevés opposés.....	253
Figure 6.5 : Mise en évidence des géons et géotopes forestiers.....	254
Figure 6.6 : Classification des relevés en fonction des formations végétales qui s'y placent.....	257
Figure 6.7 : Groupes de relevés en milieu spontané sur le bassin versant d'El Hnach.....	259
Figure 6.8 : groupes de relevés inscrits dans le cadre d'un lissage statistique lié à l'action anthropique.....	261
Figure 6.9 : Groupes de relevés en milieu spontané mais clairsemé.....	264
Figure 6.10 : Les groupes de relevés des talus de Kamech.....	266
Figure 6.11 : Les derniers groupes de relevés identifiés (les jachères anthropiques).....	268

Figure 6.12 : Classification finale, distribution des groupes de relevés en fonction des types d'infraplexions dans lesquels ils s'inscrivent.....	274
Figure 7.1: Géons, géotopes et états du milieu naturel sur substrat régolique peu altéré.....	286
Figure 7.2 : Géons, géotopes et états du milieu naturel sur substrat régolique très altéré (pardi-réductique).....	290
Figure 7.3 : Géons, géotopes et états du milieu naturel sur substrat tafékéritique (les encroûtements calcaires).....	293
Figure 7.4 : Géons, géotopes et états du milieu naturel sur substrat alté-tassikéritique (les croûtes calcaires altérées).....	296
Figure 7.5 : Les géons en intergrade (et leurs variantes) dans les milieux kéritiques. (Tassikérite, alté-tassikérite et tafékérite se succédant verticalement.....	299
Figure 7.6 : Géons, géotopes et états du milieu naturel sur substrat tanolique. Les sols vertiques en place.....	304
Figure 7.7 : Géons, géotopes et états du milieu naturel sur substrat tanolique Les sols vertiques colluviaux.....	305
Figure 7.8 : Orthotypes, intergrades et variantes dans les milieux tanolique brunichromes boisés.....	310
Figure 7.9 : Orthotypes, intergrades et variantes dans les milieux tanolique brunichromes d'El Hnach.....	313
Figure 7.10 : Orthotypes, intergrades et variantes dans les milieux tanolique brunichromes entafériques.....	318
Figures 7.11: Orthotypes rares permettant d'achever l'analyse des organisations verticales de la géosphère.....	321
Figure 8.1 : La chaîne des traitements suivie pour l'établissement des types de géons... et des segments de paysages.....	326
Figure 8.2 : Essais de représentation systémique du cheminement de l'eau dans les géons et dans les segments de paysages.....	329
Figure 8.3 : localisation des toposéquences et emplacement des relevés pour le paysage de Kamech.....	332

Figure 8.4 - Géons, géotopes et segments de paysages le long de la première toposéquence de Kamech.....	334
Figure 8.5 : Géons et géotopes le long de la quatrième toposéquence de Kamech.....	337
Figure 8.6 : Dynamiques du milieu et segmentation du paysage le long de la quatrième toposéquence.....	338
Figure 8.7 - Géons, géotopes et segments de paysages le long de la cinquième toposéquence de Kamech.....	342
Figure 8.8 : Géons, géotopes et segments de paysages le long de la sixième toposéquence de Kamech.....	344
Figure 8.9 : Géons, géotopes et segments de paysages le long de la sixième toposéquence de Kamech.....	347
Figure 8.10 : Géons, géotopes et segments de paysages le long de la sixième toposéquence de Kamech.....	348
Figure 8.11 : Modèle du cheminement de l'eau en rive droite du paysage de Kamech.....	351
Figure 8.12 : Modèle du cheminement de l'eau en rive gauche du paysage de Kamech (section amont).....	352
Figure 8.13 : Modèle du cheminement de l'eau en rive gauche du paysage de Kamech (section aval).....	353
Figure 8.14 : Spatialisation des segments de paysages à proximité immédiate des toposéquences.....	355
Figure 8.15 : La carte des segments de paysages de Kamech.....	357

Table des tableaux

Tableau 2.1 : Exemple d'identification détaillé d'un matériau entaférique.....	37
Tableau 2.2 : Identification des formes de transition entre le stade prophyse et le stade paliphyse.....	37
Tableau 3.1 : Les différents hoplexions et leurs caractéristiques.....	47
Tableau 3.2 : le modèle à sept segments de paysage adapté au monde méditerranéen.....	55
Tableau 5.1 : Les composantes du supraplexion (S).....	122
Tableau 5.2 : Les composantes du métaplexion supérieur (U).....	122
Tableau 5.3 : Les composantes du métaplexion strict (T).....	122
Tableau 5.4 : Les composantes du métaplexion inférieur (F).....	123
Tableau 5.5 : Les composantes de l'infraplexion (I).....	123
Tableau 5.6 : Les composantes du métaplexion supérieur (U).....	125
Tableau 5.7 : Les composantes du métaplexion strict (T).....	125
Tableau 5.8 : Les composantes du métaplexion inférieur (F).....	126
Tableau 5.9 : les composantes de l'infraplexion (I).....	126
Tableau 5.10 : les composantes du supraplexion.....	127
Tableau 5.11 : les composantes du métaplexion supérieur.....	127
Tableau 5.12 : les composantes du métaplexion strict.....	128
Tableau 5.13 : les composantes du métaplexion inférieur.....	128
Tableau 5.14 : les composantes de l'infraplexion.....	128
Tableau 5.15 : Les groupes d'hoplexols du supraplexion.....	141
Tableau 5.16 : Les types d'hoplexols du supraplexion, morphologie et interprétations.....	143
Tableau 5.17 : les quatre premiers groupes d'hoplexols définis. Les espaces cultivés.....	151
Tableau 5.18 : Groupes d'hoplexols des talus de Kamech.....	152
Tableau 5.18 (bis) : Groupes d'hoplexols dans la forêt d'Abdeladim.....	153

Tableau 5.19 : Les groupes d'hoplexols de la steppe d'El Hnach.....	154
Tableau 5.20 : les groupes d'hoplexols des milieux de jachères et de friches.....	155
Tableau 5.21 : Groupe et type unique représentant les bas-fonds humides de Kamech.....	156
Tableau 5.22 : Groupes d'hoplexols rassemblant les points les plus hauts sur le profil vertical.....	158
Tableau 5.23 : les types d'hoplexols du métaplexion supérieur.....	159
Tableau 5.24 : la surface du sol lorsque la roche mère affleure.....	172
Tableau 5.25 : la surface du sol dans un état très perturbé.....	173
Tableau 5.26 : le métaplexion strict (h+1) dans les boisements d'Abdeladim.....	175
Tableau 5.27 : le métaplexion strict (h+1) dans les friches et les jachères.....	177
Tableau 5.28 : Surface du sol et pavage caillouteux (métaplexion strict, h-1).....	178
Tableau 5.29 : la surface du sol des bas-fonds humides de Kamech.....	180
Tableau 5.30 : la surface du sol sur un versant pentu et fortement soumis à l'érosion.....	181
Tableau 5.31 : la surface du sol armée par des concentrations de calcaires.....	182
Tableau 5.32 : la surface du sol en présence d'une altération avancée des affleurements gréseux.....	183
Tableau 5.33 : les accumulations sableuses dans la surface du sol.....	185
Tableau 5.34 : les dynamiques colluviales généralisées.....	186
Tableau 5.35 : les fortes parts d'aérophyse dans la surface du sol.....	187
Tableau 5.35 : synthèse des états de surface et typologie retenus.....	187
Tableau 5.36 : comportements hydriques et érosifs des types de la surface du sol.....	190
Tableau 5.37 : contributions relatives et absolues des variables entaféro-isaltérite et entaféro-vertichron sur les axes factoriels F5 et F6.....	194
Tableau 5.38 : contribution absolues et relatives des variables alté-tassikérite, tafékérite et alté-tafékérite sur les axes factoriels F18, F19 et F22.....	199
Tableau 5.39 : Groupes rassemblant des hoplexols d'altération sur roche tendre.....	208
Tableau 5.40 : les sols colluviaux à forte teneur en sables.....	209

Tableau 5.41 : les sols vertiques en place.....	210
Tableau 5.42 : groupes d'hoplexols attachée à des dynamiques pédogénétiques.....	212
Tableau 5.43 : les accumulations minérales d'origine altéritiques sur substrat régolique.....	214
Tableau 5.44 : groupes d'hoplexols caractérisés par des concentrations de calcaires dans les sols.....	215
Tableau 5.45 : Les sols dans les affleurements calcaires.....	216
Tableau 5.46 : Les sols colluviaux.....	217
Tableau 5.48 : Groupe d'hoplexols rassemblant des sols vertique colluviaux.....	219
Tableau 5.49 : Les sols bruns en place.....	220
Tableau 5.50 : Les mouvements de masse.....	221
Tableau 5.51 : tableau de synthèse présentant les types de sols retenus de l'analyse.....	221
Tableau 5.52 : comportement hydrodynamique des types de sols.....	225
Tableau 5.53 : Coefficients d'inertie des variables principales sur l'axe F2.....	228
Tableau 5.55 : Les roches pas ou peu altérées.....	234
Tableau 5.56 : Les roches dures très altérées (transformation de la matière.....	235
Tableau 5.57 : Les premières formes d'altération des roches tendres (marnes).....	236
Tableau 5.58 : Les formes avancées de l'altération des marnes.....	237
Tableau 5.59 : Les formes les plus avancées de l'altération des marnes.....	238
Tableau 5.60 : Les structures pédiques profondes.....	240
Tableau 5.61 : les croûtes en dalle résistantes (tassikéritiques...).....	241
Tableau 5.62 : Les croûtes en dalle ayant perdu leur dureté (alté-tassikérites...).....	241
Tableau 5.63 : Les encroûtements calcaires (tafékérîtes...).....	242
Tableau 5.64 : Les types d'hoplexols de l'infraplexion.....	243
Tableau 6.1 : Contributions absolues et relatives des variables SIV, UVI et TVI sur les axes F2 et F4.....	252
Tableau 6.2 : Récapitulatif des successions verticales dans les types de relevés forestiers...	255

Tableau 6.3 : Comparaison des résultats pour un type de relevé donné (Re3) : la moyenne du développement, la médiane du développement et le profil médian.....	256
Tableau 6.4 : Les relevés médians issus de l'analyse du milieu dans le cadre de la végétation spontanée d'El Hnach.....	260
Tableau 6.5 : les relevés médians issus de l'analyse du milieu dans le cadre de la végétation anthropique (céréale et légumineuses) dans les trois paysages.....	262
Tableau 6.6 : Récapitulatif des relevés médians issus de la typologie des relevés en milieu spontané (de Re20 à Re26).....	265
Tableau 6.7 : Récapitulatif des groupes de relevés correspondant aux talus de Kamech.....	267
Tableau 6.8 : Récapitulatif des groupes de relevés inscrits dans ce dernier ensemble (les jachères anthropiques.....)	270
Tableau 6.9 : Groupes de relevés, relevés de milieu et relevés médians.....	271
Tableau 6.10 : Les différentes des milieux régoliques.....	276
Tableau 6.11 : Les différentes formes des milieux kéritiques.....	276
Tableau 6.12 : Les différentes formes des milieux tanoliques.....	277
Tableau 8.1 : Les segments de paysages de Kamech.....	358

Table des matières

REMERCIEMENTS	3
INTRODUCTION GENERALE	6
PREMIERE PARTIE : LES CADRES DE L'ETUDE.	11
INTRODUCTION DE LA PREMIERE PARTIE	12
CHAPITRE PREMIER - GENERALITES : CADRE ADMINISTRATIF ET CHOIX DES PAYSAGES ETUDIES	13
INTRODUCTION	13
I.1 - DE AMBRE A LISAH : NAISSANCE D'UNE EQUIPE PLURIDISCIPLINAIRE.	13
I.2 - LES PAYSAGES DE LA DORSALE TUNISIENNE : UNE ETUDE PRELIMINAIRE.	15
I.2.1 - La dorsale tunisienne, un enjeu en matière de gestion de l'eau.	15
I.2.2 - Quels paysages représentatifs retenir ?	16
I.3.1 - Le bassin versant de Kamech.	18
I.3.1.1 - Cadre géographique.	18
I.3.1.2 - Les dispositifs de collecte des données météorologiques et hydrologiques.	19
I.3.2 - Le bassin versant d'EL Hnach.	19
I.3.2.1 - Cadre géographique.	19
I.3.2.2 - Les dispositifs de collecte des données météorologiques et hydrologiques.	20
I.3.3 - Le Bassin versant d'Abdeladim.	21
I.3.3.1 - Cadre géographique.	21
I.3.3.2 - Les dispositifs de collecte des données météorologiques et hydrologiques.	22
CONCLUSION	22
CHAPITRE II - LES ORIGINES DU LANGAGE ET SA JUSTIFICATION	24
INTRODUCTION	24
II.1 - NOMENCLATURE DES TERMES EMPLOYES.	24
II.1.1 - Les formations végétales les plus hautes : le supraplexion.	24
II.1.1.1 - Les structures de maintien et de conduction.	24
II.1.1.2 - Les structures d'expansion et d'exploitation.	25
II.1.2 - Les formations végétales herbacée : le métaplexion supérieur.	26
II.1.2.1 - Les végétaux herbacés dépourvus de tissus ligneux.	26
II.1.2.2 - Les végétaux ligneux et « sous ligneux ».	27
II.1.3 - La surface du sol : le métaplexion strict.	29
II.1.3.1 - Les formes minérales de la surface du sol.	29
II.1.3.2 - Les « formes végétales » de la surface du sol.	31
II.1.4 - Les sols : le métaplexion inférieur.	31
II.1.5 - Les formations géologiques superficielles : l' infraplexion.	32

II.1.6 - Les éléments qui n'appartiennent à aucun type particulier. _____	34
II.2 - LA DIAGNOSE DU MILIEU NATUREL; _____	34
II.2.1 - Les origines du langage. _____	35
II.2.2 - La grammaire scientifique. _____	36
II.2.3 - Les principes de la diagnose du milieu naturel. _____	37
II.3 - UN EXEMPLE CONCRET DE DIAGNOSTIC. _____	39
CONCLUSION _____	40
 CHAPITRE III - LES AXES DE LA GEOSPHERE _____	 42
INTRODUCTION _____	42
III.1 - LA NOTION « D'HOPLEXOL ». _____	42
III.1.1 - Qu'est-ce qu'un hoplexol ? _____	43
III.1.2 - Considérations sur la délimitation des hoplexols. _____	43
III.1.3 - « Phases » et « stigmes », deux éléments essentiels à la compréhension des dynamiques paysagères. _____	44
III.2 - DEVELOPPEMENT ET COMPLEXITE DE LA GEOSPHERE. _____	45
III.2.1 - Généralités. _____	45
III.2.2 - Les différents « hoplexions ». _____	46
III.3 - LES EXTENSIONS LATERALES DES PROFILS DE LA GEOSPHERE. _____	48
III.3.1 - Les « géons » et les « géotopes ». _____	48
III.3.2 - Les « segments de Paysage ». _____	50
III.3.2.1 - Des « facettes topographiques » aux « segments de paysage » : influences et apports externes à l'ATM. _____	50
III.3.2.2 - Le modèle à sept segments de paysages. _____	53
III.3.3 - Les « paysages ». _____	55
CONCLUSION _____	57
CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE _____	58
 DEUXIEME PARTIE : DONNEES ET TRAITEMENTS, DU TERRAIN VERS UN MODELE D'ORGANISATION DU MILIEU NATUREL _____	 59
INTRODUCTION DE LA DEUXIEME PARTIE _____	60
CHAPITRE IV - LA TYPOLOGIE DES _____	62
FACETTES TOPOGRAPHIQUES _____	62
INTRODUCTION _____	62
IV.1 - DONNEES DE TERRAIN, PRESENTATION ET CRITIQUES. _____	63
IV.1.1 - Les éléments communs aux trois bassins versants. _____	63
IV.1.2 - Les facettes topographiques de Kamech. _____	63
IV.1.3 - Les facettes topographiques d'Abdeladim. _____	68
IV.1.4 - Les facettes topographiques d'El Hnach _____	71

IV.2 - LA TYPOLOGIE DES FACETTES TOPOGRAPHIQUES : THEORIES ET TRAITEMENTS.	74
IV.2.1 - Quelques mots sur la chaîne des traitements (figure 4.8).	74
IV.2.2 - Théorie et règles d'interprétations.	76
IV.2.2.1 - L'Analyse en Composantes Principales (ACP).	76
IV.2.2.2 - Les différentes classifications testées.	77
IV.2.2.2.a - Les classifications ascendantes hiérarchiques.	77
IV.2.2.2.b - Les classifications autour des centres mobiles.	78
IV.2.2.2.c - Les classifications mixtes.	80
IV.3 - LA TYPOLOGIE DES FACETTES TOPOGRAPHIQUES : RESULTATS ET ANALYSES.	81
IV.3.1 - Le bassin versant d'Abdeladim.	81
IV.3.1.1 - Les critères de sélection des types de facettes.	81
IV.3.1.2 - Classification retenue et typologie des facettes topographiques.	86
IV.3.2 - Le bassin versant de Kamech.	89
IV.3.2.1 - Les critères de sélection des types de facettes.	89
IV.3.2.2 - Classification retenue et typologie des facettes topographiques.	96
IV.3.3 - Le bassin versant d'El Hnach.	100
IV.3.3.1 - Les critères de sélection des types de facettes.	100
IV.3.3.2 - Classification retenue et typologie des facettes topographiques.	107
CONCLUSION	110
 CHAPITRE V	 112
LA TYPOLOGIE DES	112
ENVELOPPES DE LA GEOSPHERE	112
INTRODUCTION	112
V.1 - METHODE D'INVESTIGATION ET DONNEES RECUEILLIES.	112
V.1.1 - La collecte de données sur le terrain : présentation de la démarche.	112
V.1.1.1 - Le choix des axes d'échantillonnage.	112
V.1.1.2 - L'emplacement des points de mesure de la géosphère.	114
V.1.1.3 - La définition des enveloppes de la géosphère et relevé des composantes du milieu naturel.	116
V.1.1.4 - Le suivi des changements latéraux des hoplexols.	118
V.1.2 - Choix des toposéquences, positionnement des relevés et données recueillies.	120
V.1.2.1 - Le bassin versant d'Abdeladim.	120
V.1.2.2 - Le bassin versant de Kamech.	124
V.1.2.3 - Le bassin versant d'El Hnach.	126
V.1.3 - Quelques mots sur la chaîne des traitements.	129
V.2 - LA DEFINITION DES TYPES D'HOPLEXOLS (LES ENVELOPPES DE LA GEOSPHERE).	133
V.2.1 - Démarche générale.	133
V.2.1.1 - Notes sur la mise en forme des données.	133
V.2.1.2 - Les règles générales suivies pour l'interprétation des types d'hoplexols.	135

V.2.2 - Les types d'hoplexols dans le supraplexion.	138
V.2.2.1 - Les traitements numériques du supraplexion (S).	138
V.2.2.2 - Les groupes d'hoplexols du supraplexion.	140
V.2.2.2.a - La forêt déclinante d'Abdeladim.	141
V.2.2.2.b - Les boisements anthropiques d'El Hnach.	142
V.2.2.3 - Les types d'hoplexols du supraplexion.	142
V.2.3 - Les types d'hoplexols dans le métaplexion supérieur.	143
V.2.3.1 - Les traitements numériques du métaplexion supérieur (U).	143
V.2.3.1.a - Première étape : la table de contingence dans son intégralité.	144
V.2.3.1.b - Traitements sur la majorité kortophytion.	146
V.2.3.1.c - Traitements sur la majorité aérophyse.	148
V.2.3.2 - Les groupes d'hoplexols du métaplexion supérieur.	150
V.2.3.2.a - Les parcelles agricoles mises en culture.	150
V.2.3.2.b - Les talus (rive gauche) de Kamech.	151
V.2.3.2.c - Les milieux forestiers d'Abdeladim.	152
V.2.3.2.d - La steppe d'El Hnach.	153
V.2.3.2.e - Les milieux de friches et de jachères anthropiques.	154
V.2.3.2.f - Les bas-fonds humides de Kamech.	156
V.2.3.2.g - Les hoplexols à forte part d'aérophyse.	157
V.2.3.3 - Les types d'hoplexols du métaplexion supérieur.	158
V.2.4 - Les types d'hoplexols dans le métaplexion strict.	161
V.2.4.1 - Les traitements numériques du le métaplexion strict (T).	161
V.2.4.1.a - Première étape : la table de contingence dans son intégralité.	161
V.2.4.1.b - Traitements sur les hoplexols positifs (à dominante organique).	164
V.2.4.1.c - Traitements sur les hoplexols négatifs (à dominante minérale).	166
V.2.4.2 - Les groupes d'hoplexols du métaplexion strict.	171
V.2.4.2.a - Lorsque la roche mère affleure en surface.	171
V.2.4.2.b - Les milieux détruits par l'homme de manière irréversible.	172
V.2.4.2.c - Les hoplexols posés sur la surface du sol en milieu forestier.	174
V.2.4.2.d - Les hoplexols juste au dessus de la surface du sol en milieu de friches et de jachères.	176
V.2.4.2.e - Un pavage caillouteux inclus dans la surface du sol.	178
V.2.4.2.f - Les dynamiques particulières de la surface du sol.	179
V.2.4.2.g - La surface du sol dans un contexte colluvial à majorité de microgravelons sableux.	184
V.2.4.2.h - La surface du sol dans un contexte colluvial généralisé.	185
V.2.4.2.i - Les milieux où la surface du sol affiche une grande part d'aérophyse.	186
V.2.4.3 - Les types d'hoplexols du métaplexion strict.	187
V.2.5 - Les types d'hoplexols du métaplexion inférieur.	191
V.2.5.1 - Les traitements numériques du le métaplexion inférieur (F).	192
V.2.5.1.a - Les particularismes du métaplexion inférieur.	192
V.2.5.1.b - Seconde phase de l'analyse : un cas d'école pour un cours de statistiques.	202
V.2.5.1.c - Analyse au sein du sous-ensemble entaféro-vertichron.	203
V.2.5.1.d - Analyse au sein du sous-ensemble entaféro-brunichron.	204
V.2.5.1.e - Analyse au sein du sous-ensemble brunichron.	206
V.2.5.2 - Les groupes d'hoplexols du métaplexion inférieur.	207
V.2.5.2.a - Les formes d'altération des roches tendres.	207

V.2.5.2.b - Les accumulations sableuses dans les sols. _____	208
V.2.5.2.c - Vertisolisation et sols vertiques en place. _____	210
V.2.5.2.d - Pédogenèse et mise en place de nouveaux sols. _____	211
V.2.5.2.e - Les accumulations d'origine non-colluviales (formes d'altération des roches dures). _____	213
V.2.5.2.f - Les formes de concentration du calcaire dans les sols. _____	214
V.2.5.2.g - Les sols développés dans les affleurements calcaires. _____	216
V.2.5.2.h - Les sols bruns colluviaux très lessivés. _____	217
V.2.5.2.i - Les sols colluviaux à caractère vertique. _____	218
V.2.5.2.j - Brunification est sols bruns en place. _____	219
V.2.5.2.k - Sols et mouvements de masse. _____	220
V.2.5.3 - Les types d'hoplexols du métaplexion inférieur. _____	221
V.2.6 - Les types d'hoplexols de l'infraplexion. _____	226
V.2.6.1 - Les traitements numériques de l'infraplexion (I). _____	226
V.2.6.2 - Les groupes d'hoplexols de l'infraplexion. _____	233
V.2.6.2.a - Les formes d'altération des roches dures (gréseuses et calcaires). _____	234
V.2.6.2.b - Les formes d'altération des roches tendres (marneuses). _____	236
V.2.6.2.c - Les structures pédiques de l'infraplexion. _____	239
V.2.6.2.d - Les formes de concentrations continues des calcaires. _____	240
V.2.6.3 - Les types d'hoplexols de l'infraplexion. _____	243
CONCLUSION _____	245
CHAPITRE VI _____	247
LA TYPOLOGIE DES _____	247
ETATS DE LA GEOSPHERE _____	247
INTRODUCTION _____	247
VI.1 - METHODE SUIVIE POUR L'ELABORATION DES TYPES DE GEONS. _____	247
VI.1.1 - Démarche générale. _____	247
VI.1.2 - Mise en forme de la table de contingence. _____	249
VI.2 - LES TRAITEMENTS REALISES ET LES RESULTATS QU'ILS PROPOSENT. _____	251
VI.2.1 - Des données brutes à la typologie des états du milieu, les étapes utiles à la différenciation des types de relevés. _____	251
VI.2.1.1 - Traitements sur l'ensemble de la table de contingence (et les premières réductions imposées...). _____	251
VI.2.1.2 - Les organisations de la géosphère en milieux forestiers. _____	254
VI.2.1.3 - Les milieux autres que les milieux forestiers. _____	257
VI.2.1.4 - La végétation spontanée d'El Hnach. _____	258
VI.2.1.5 - Les parcelles agricoles mises en culture (céréales et légumineuses). _____	260
VI.2.1.6 - Végétation spontanée pérenne ou anthropisée. _____	263
VI.2.2 - Synthèse des groupes et relevés médians associés. _____	271
VI.3 - LA TYPOLOGIE DES GEONS PROPOSEE (DERNIERE ETAPE DE LA CLASSIFICATION). _____	274
CONCLUSION _____	278

Table des matières

REMERCIEMENTS	3
INTRODUCTION GENERALE	6
PREMIERE PARTIE : LES CADRES DE L'ETUDE.	11
INTRODUCTION DE LA PREMIERE PARTIE	12
CHAPITRE PREMIER - GENERALITES : CADRE ADMINISTRATIF ET CHOIX DES PAYSAGES ETUDIES	13
INTRODUCTION	13
I.1 - DE AMBRE A LISAH : NAISSANCE D'UNE EQUIPE PLURIDISCIPLINAIRE.	13
I.2 - LES PAYSAGES DE LA DORSALE TUNISIENNE : UNE ETUDE PRELIMINAIRE.	15
I.2.1 - La dorsale tunisienne, un enjeu en matière de gestion de l'eau.	15
I.2.2 - Quels paysages représentatifs retenir ?	16
I.3.1 - Le bassin versant de Kamech.	18
I.3.1.1 - Cadre géographique.	18
I.3.1.2 - Les dispositifs de collecte des données météorologiques et hydrologiques.	19
I.3.2 - Le bassin versant d'EL Hnach.	19
I.3.2.1 - Cadre géographique.	19
I.3.2.2 - Les dispositifs de collecte des données météorologiques et hydrologiques.	20
I.3.3 - Le Bassin versant d'Abdeladim.	21
I.3.3.1 - Cadre géographique.	21
I.3.3.2 - Les dispositifs de collecte des données météorologiques et hydrologiques.	22
CONCLUSION	22
CHAPITRE II - LES ORIGINES DU LANGAGE ET SA JUSTIFICATION	24
INTRODUCTION	24
II.1 - NOMENCLATURE DES TERMES EMPLOYES.	24
II.1.1 - Les formations végétales les plus hautes : le supraplexion.	24
II.1.1.1 - Les structures de maintien et de conduction.	24
II.1.1.2 - Les structures d'expansion et d'exploitation.	25
II.1.2 - Les formations végétales herbacée : le métaplexion supérieur.	26
II.1.2.1 - Les végétaux herbacés dépourvus de tissus ligneux.	26
II.1.2.2 - Les végétaux ligneux et « sous ligneux ».	27
II.1.3 - La surface du sol : le métaplexion strict.	29
II.1.3.1 - Les formes minérales de la surface du sol.	29
II.1.3.2 - Les « formes végétales » de la surface du sol.	31
II.1.4 - Les sols : le métaplexion inférieur.	31
II.1.5 - Les formations géologiques superficielles : l' infraplexion.	32

II.1.6 - Les éléments qui n'appartiennent à aucun type particulier. _____	34
II.2 - LA DIAGNOSE DU MILIEU NATUREL; _____	34
II.2.1 - Les origines du langage. _____	35
II.2.2 - La grammaire scientifique. _____	36
II.2.3 - Les principes de la diagnose du milieu naturel. _____	37
II.3 - UN EXEMPLE CONCRET DE DIAGNOSTIC. _____	39
CONCLUSION _____	40
 CHAPITRE III - LES AXES DE LA GEOSPHERE _____	 42
INTRODUCTION _____	42
III.1 - LA NOTION « D'HOPLEXOL ». _____	42
III.1.1 - Qu'est-ce qu'un hoplexol ? _____	43
III.1.2 - Considérations sur la délimitation des hoplexols. _____	43
III.1.3 - « Phases » et « stigmes », deux éléments essentiels à la compréhension des dynamiques paysagères. _____	44
III.2 - DEVELOPPEMENT ET COMPLEXITE DE LA GEOSPHERE. _____	45
III.2.1 - Généralités. _____	45
III.2.2 - Les différents « hoplexions ». _____	46
III.3 - LES EXTENSIONS LATERALES DES PROFILS DE LA GEOSPHERE. _____	48
III.3.1 - Les « géons » et les « géotopes ». _____	48
III.3.2 - Les « segments de Paysage ». _____	50
III.3.2.1 - Des « facettes topographiques » aux « segments de paysage » : influences et apports externes à l'ATM. _____	50
III.3.2.2 - Le modèle à sept segments de paysages. _____	53
III.3.3 - Les « paysages ». _____	55
CONCLUSION _____	57
CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE _____	58
 DEUXIEME PARTIE : DONNEES ET TRAITEMENTS, DU TERRAIN VERS UN MODELE D'ORGANISATION DU MILIEU NATUREL _____	 59
INTRODUCTION DE LA DEUXIEME PARTIE _____	60
CHAPITRE IV - LA TYPOLOGIE DES _____	62
FACETTES TOPOGRAPHIQUES _____	62
INTRODUCTION _____	62
IV.1 - DONNEES DE TERRAIN, PRESENTATION ET CRITIQUES. _____	63
IV.1.1 - Les éléments communs aux trois bassins versants. _____	63
IV.1.2 - Les facettes topographiques de Kamech. _____	63
IV.1.3 - Les facettes topographiques d'Abdeladim. _____	68
IV.1.4 - Les facettes topographiques d'El Hnach _____	71

IV.2 - LA TYPOLOGIE DES FACETTES TOPOGRAPHIQUES : THEORIES ET TRAITEMENTS.	74
IV.2.1 - Quelques mots sur la chaîne des traitements (figure 4.8).	74
IV.2.2 - Théorie et règles d'interprétations.	76
IV.2.2.1 - L'Analyse en Composantes Principales (ACP).	76
IV.2.2.2 - Les différentes classifications testées.	77
IV.2.2.2.a - Les classifications ascendantes hiérarchiques.	77
IV.2.2.2.b - Les classifications autour des centres mobiles.	78
IV.2.2.2.c - Les classifications mixtes.	80
IV.3 - LA TYPOLOGIE DES FACETTES TOPOGRAPHIQUES : RESULTATS ET ANALYSES.	81
IV.3.1 - Le bassin versant d'Abdeladim.	81
IV.3.1.1 - Les critères de sélection des types de facettes.	81
IV.3.1.2 - Classification retenue et typologie des facettes topographiques.	86
IV.3.2 - Le bassin versant de Kamech.	89
IV.3.2.1 - Les critères de sélection des types de facettes.	89
IV.3.2.2 - Classification retenue et typologie des facettes topographiques.	96
IV.3.3 - Le bassin versant d'El Hnach.	100
IV.3.3.1 - Les critères de sélection des types de facettes.	100
IV.3.3.2 - Classification retenue et typologie des facettes topographiques.	107
CONCLUSION	110
 CHAPITRE V	 112
LA TYPOLOGIE DES	112
ENVELOPPES DE LA GEOSPHERE	112
INTRODUCTION	112
V.1 - METHODE D'INVESTIGATION ET DONNEES RECUEILLIES.	112
V.1.1 - La collecte de données sur le terrain : présentation de la démarche.	112
V.1.1.1 - Le choix des axes d'échantillonnage.	112
V.1.1.2 - L'emplacement des points de mesure de la géosphère.	114
V.1.1.3 - La définition des enveloppes de la géosphère et relevé des composantes du milieu naturel.	116
V.1.1.4 - Le suivi des changements latéraux des hoplexols.	118
V.1.2 - Choix des toposéquences, positionnement des relevés et données recueillies.	120
V.1.2.1 - Le bassin versant d'Abdeladim.	120
V.1.2.2 - Le bassin versant de Kamech.	124
V.1.2.3 - Le bassin versant d'El Hnach.	126
V.1.3 - Quelques mots sur la chaîne des traitements.	129
V.2 - LA DEFINITION DES TYPES D'HOPLEXOLS (LES ENVELOPPES DE LA GEOSPHERE).	133
V.2.1 - Démarche générale.	133
V.2.1.1 - Notes sur la mise en forme des données.	133
V.2.1.2 - Les règles générales suivies pour l'interprétation des types d'hoplexols.	135

V.2.2 - Les types d'hoplexols dans le supraplexion.	138
V.2.2.1 - Les traitements numériques du supraplexion (S).	138
V.2.2.2 - Les groupes d'hoplexols du supraplexion.	140
V.2.2.2.a - La forêt déclinante d'Abdeladim.	141
V.2.2.2.b - Les boisements anthropiques d'El Hnach.	142
V.2.2.3 - Les types d'hoplexols du supraplexion.	142
V.2.3 - Les types d'hoplexols dans le métaplexion supérieur.	143
V.2.3.1 - Les traitements numériques du métaplexion supérieur (U).	143
V.2.3.1.a - Première étape : la table de contingence dans son intégralité.	144
V.2.3.1.b - Traitements sur la majorité kortophytion.	146
V.2.3.1.c - Traitements sur la majorité aérophyse.	148
V.2.3.2 - Les groupes d'hoplexols du métaplexion supérieur.	150
V.2.3.2.a - Les parcelles agricoles mises en culture.	150
V.2.3.2.b - Les talus (rive gauche) de Kamech.	151
V.2.3.2.c - Les milieux forestiers d'Abdeladim.	152
V.2.3.2.d - La steppe d'El Hnach.	153
V.2.3.2.e - Les milieux de friches et de jachères anthropiques.	154
V.2.3.2.f - Les bas-fonds humides de Kamech.	156
V.2.3.2.g - Les hoplexols à forte part d'aérophyse.	157
V.2.3.3 - Les types d'hoplexols du métaplexion supérieur.	158
V.2.4 - Les types d'hoplexols dans le métaplexion strict.	161
V.2.4.1 - Les traitements numériques du le métaplexion strict (T).	161
V.2.4.1.a - Première étape : la table de contingence dans son intégralité.	161
V.2.4.1.b - Traitements sur les hoplexols positifs (à dominante organique).	164
V.2.4.1.c - Traitements sur les hoplexols négatifs (à dominante minérale).	166
V.2.4.2 - Les groupes d'hoplexols du métaplexion strict.	171
V.2.4.2.a - Lorsque la roche mère affleure en surface.	171
V.2.4.2.b - Les milieux détruits par l'homme de manière irréversible.	172
V.2.4.2.c - Les hoplexols posés sur la surface du sol en milieu forestier.	174
V.2.4.2.d - Les hoplexols juste au dessus de la surface du sol en milieu de friches et de jachères.	176
V.2.4.2.e - Un pavage caillouteux inclus dans la surface du sol.	178
V.2.4.2.f - Les dynamiques particulières de la surface du sol.	179
V.2.4.2.g - La surface du sol dans un contexte colluvial à majorité de microgravelons sableux.	184
V.2.4.2.h - La surface du sol dans un contexte colluvial généralisé.	185
V.2.4.2.i - Les milieux où la surface du sol affiche une grande part d'aérophyse.	186
V.2.4.3 - Les types d'hoplexols du métaplexion strict.	187
V.2.5 - Les types d'hoplexols du métaplexion inférieur.	191
V.2.5.1 - Les traitements numériques du le métaplexion inférieur (F).	192
V.2.5.1.a - Les particularismes du métaplexion inférieur.	192
V.2.5.1.b - Seconde phase de l'analyse : un cas d'école pour un cours de statistiques.	202
V.2.5.1.c - Analyse au sein du sous-ensemble entaféro-vertichron.	203
V.2.5.1.d - Analyse au sein du sous-ensemble entaféro-brunichron.	204
V.2.5.1.e - Analyse au sein du sous-ensemble brunichron.	206
V.2.5.2 - Les groupes d'hoplexols du métaplexion inférieur.	207
V.2.5.2.a - Les formes d'altération des roches tendres.	207

V.2.5.2.b - Les accumulations sableuses dans les sols. _____	208
V.2.5.2.c - Vertisolisation et sols vertiques en place. _____	210
V.2.5.2.d - Pédogenèse et mise en place de nouveaux sols. _____	211
V.2.5.2.e - Les accumulations d'origine non-colluviales (formes d'altération des roches dures). _____	213
V.2.5.2.f - Les formes de concentration du calcaire dans les sols. _____	214
V.2.5.2.g - Les sols développés dans les affleurements calcaires. _____	216
V.2.5.2.h - Les sols bruns colluviaux très lessivés. _____	217
V.2.5.2.i - Les sols colluviaux à caractère vertique. _____	218
V.2.5.2.j - Brunification est sols bruns en place. _____	219
V.2.5.2.k - Sols et mouvements de masse. _____	220
V.2.5.3 - Les types d'hoplexols du métaplexion inférieur. _____	221
V.2.6 - Les types d'hoplexols de l'infraplexion. _____	226
V.2.6.1 - Les traitements numériques de l'infraplexion (I). _____	226
V.2.6.2 - Les groupes d'hoplexols de l'infraplexion. _____	233
V.2.6.2.a - Les formes d'altération des roches dures (gréseuses et calcaires). _____	234
V.2.6.2.b - Les formes d'altération des roches tendres (marneuses). _____	236
V.2.6.2.c - Les structures pédiques de l'infraplexion. _____	239
V.2.6.2.d - Les formes de concentrations continues des calcaires. _____	240
V.2.6.3 - Les types d'hoplexols de l'infraplexion. _____	243
CONCLUSION _____	245
CHAPITRE VI _____	247
LA TYPOLOGIE DES _____	247
ETATS DE LA GEOSPHERE _____	247
INTRODUCTION _____	247
VI.1 - METHODE SUIVIE POUR L'ELABORATION DES TYPES DE GEONS. _____	247
VI.1.1 - Démarche générale. _____	247
VI.1.2 - Mise en forme de la table de contingence. _____	249
VI.2 - LES TRAITEMENTS REALISES ET LES RESULTATS QU'ILS PROPOSENT. _____	251
VI.2.1 - Des données brutes à la typologie des états du milieu, les étapes utiles à la différenciation des types de relevés. _____	251
VI.2.1.1 - Traitements sur l'ensemble de la table de contingence (et les premières réductions imposées...). _____	251
VI.2.1.2 - Les organisations de la géosphère en milieux forestiers. _____	254
VI.2.1.3 - Les milieux autres que les milieux forestiers. _____	257
VI.2.1.4 - La végétation spontanée d'El Hnach. _____	258
VI.2.1.5 - Les parcelles agricoles mises en culture (céréales et légumineuses). _____	260
VI.2.1.6 - Végétation spontanée pérenne ou anthropisée. _____	263
VI.2.2 - Synthèse des groupes et relevés médians associés. _____	271
VI.3 - LA TYPOLOGIE DES GEONS PROPOSEE (DERNIERE ETAPE DE LA CLASSIFICATION). _____	274
CONCLUSION _____	278

CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE	279
TROISIEME PARTIE : LES ORGANISATIONS SPATIALES MISES EN EVIDENCE ET LES ELEMENTS D'EXPLICATIONS AUXQUELLES ELLES RENVOIENT...	281
INTRODUCTION DE LA TROISIEME PARTIE	282
CHAPITRE VII	283
GEONS, GEOTOPES	283
ET ETATS DUMILIEU	283
INTRODUCTION	283
VII.1 - LES NOTIONS ELEMENTAIRES POUR COMPRENDRE LES RESULTATS PROPOSES.	283
VII.2 - ORTHOTYPES, VARIANTES ET INTERGRADES DANS LES MILIEUX REGOLIQUES.	285
VII.2.1 - Lorsque le régolite se trouve en profondeur.	285
VII.2.2 - Lorsque le régolite affleure à la surface du « sol ».	287
VII.2.3 - Lorsque le régolite est très fortement altéré.	289
VII.3 - ORTHOTYPES, VARIANTES ET INTERGRADES DANS LES MILIEUX KERITIQUES.	292
VII.3.1 - Les encroûtements calcaires.	292
VII.3.2 - Les croûtes calcaires altérées.	296
VII.3.3 - Les milieux kéritiques plus complexes.	298
VII.4 - ORTHOTYPES, VARIANTES ET INTERGRADES DANS LES MILIEUX TANOLIQUES.	302
VII.4.1 - Les milieux vertiques colluviaux et non colluviaux.	303
VII.4.2 - Tanolites et sols bruns	309
VII.4.2.1 - Les espaces boisés d'Abdeladim..	309
VII.4.2.2 - Les brunichrons en place au sein du paysage d'El Hnach.	313
VII.4.2.3 - Les brunichrons colluviaux (types rares).	317
VII.4.2.4 - Les types qui n'entrent pas dans les agencements verticaux décrits jusqu'alors...	320
CONCLUSION.	322
CHAPITRE VIII	324
SEGMENTS DE PAYSAGES ET INTERPRETATIONS HYDRODYNAMIQUES	324
INTRODUCTION	324
VIII.1 - DEMARCHE ET PRINCIPES GENERAUX.	325
VIII.1.1 - Notes sur la segmentation du paysage et les méthodes de spatialisations.	325
VIII.1.2 - Les paysages et l'eau : considérations théoriques sur l'hydrodynamique des géons et des segments de paysages.	327
VIII.2 - TOPOSEQUENCES, GEONS ET SEGMENTS DE PAYSAGES A KAMECH.	331
VIII.2.1 - Les séquences paysagères de la rive droite.	332

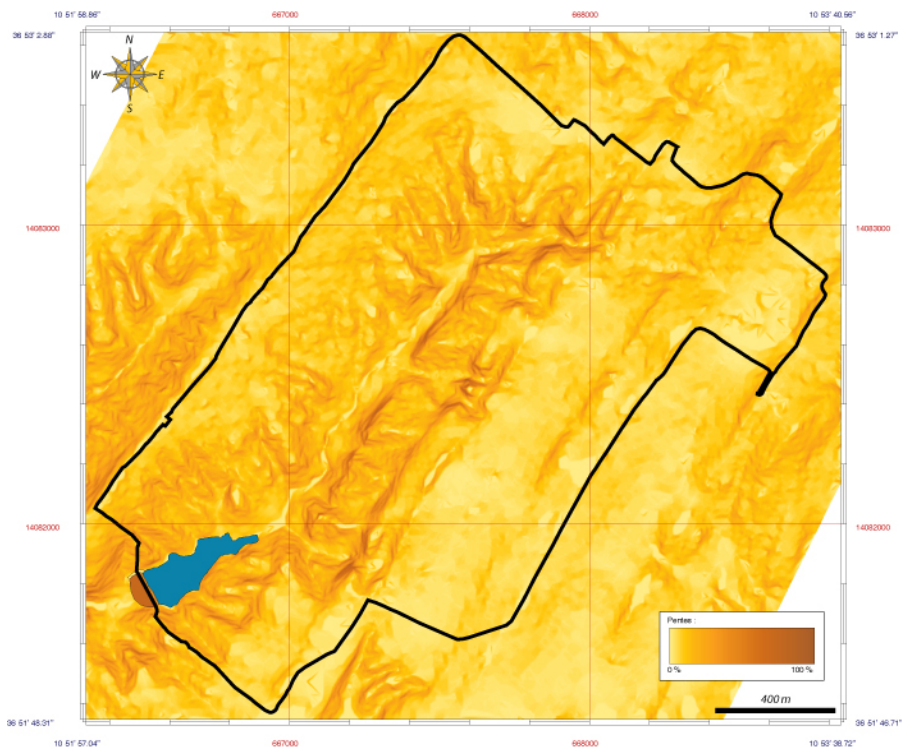
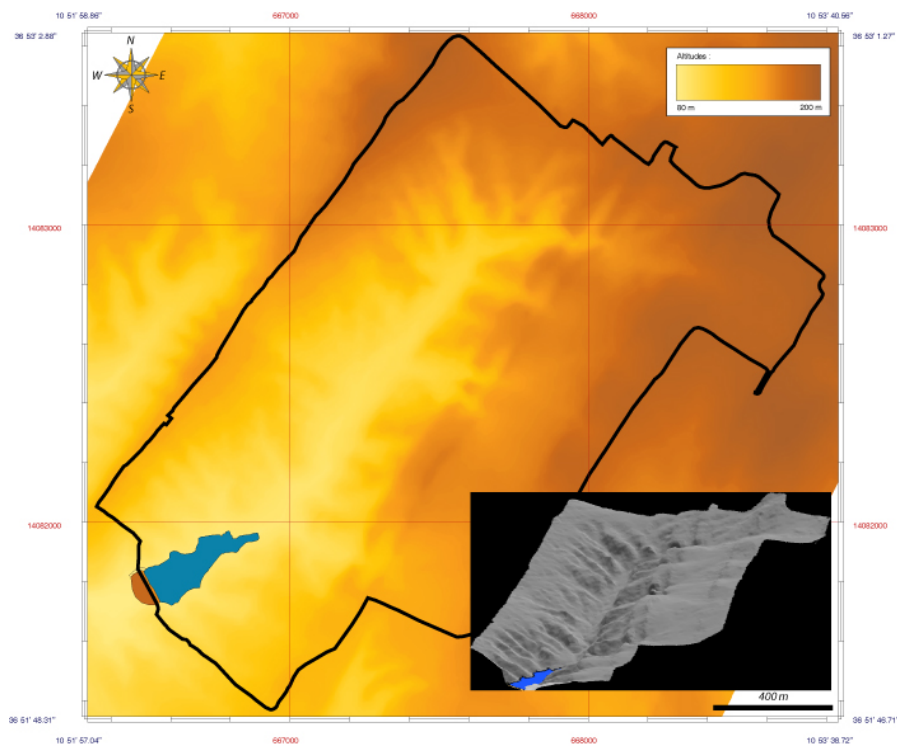
VIII.2.2 - Les séquences paysagères de la rive gauche.	340
VIII.2.3 - Les interprétations hydrodynamiques.	350
VIII.3 - LA CARTOGRAPHIE DES SEGMENTS DE PAYSAGES.	354
CONCLUSION	360
CONCLUSION DE LA TROISIEME PARTIE	361
CONCLUSION GENERALE	362
BIBLIOGRAPHIE	365
TABLE DES FIGURES	371
TABLE DES TABLEAUX	378
TABLE DES MATIERES	382
ANNEXES	388
RESUME / SUMMARY	395

CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE	279
TROISIEME PARTIE : LES ORGANISATIONS SPATIALES MISES EN EVIDENCE ET LES ELEMENTS D'EXPLICATIONS AUXQUELLES ELLES RENVOIENT...	281
INTRODUCTION DE LA TROISIEME PARTIE	282
CHAPITRE VII	283
GEONS, GEOTOPES	283
ET ETATS DUMILIEU	283
INTRODUCTION	283
VII.1 - LES NOTIONS ELEMENTAIRES POUR COMPRENDRE LES RESULTATS PROPOSES.	283
VII.2 - ORTHOTYPES, VARIANTES ET INTERGRADES DANS LES MILIEUX REGOLIQUES.	285
VII.2.1 - Lorsque le régolite se trouve en profondeur.	285
VII.2.2 - Lorsque le régolite affleure à la surface du « sol ».	287
VII.2.3 - Lorsque le régolite est très fortement altéré.	289
VII.3 - ORTHOTYPES, VARIANTES ET INTERGRADES DANS LES MILIEUX KERITIQUES.	292
VII.3.1 - Les encroûtements calcaires.	292
VII.3.2 - Les croûtes calcaires altérées.	296
VII.3.3 - Les milieux kéritiques plus complexes.	298
VII.4 - ORTHOTYPES, VARIANTES ET INTERGRADES DANS LES MILIEUX TANOLIQUES.	302
VII.4.1 - Les milieux vertiques colluviaux et non colluviaux.	303
VII.4.2 - Tanolites et sols bruns	309
VII.4.2.1 - Les espaces boisés d'Abdeladim..	309
VII.4.2.2 - Les brunichrons en place au sein du paysage d'El Hnach.	313
VII.4.2.3 - Les brunichrons colluviaux (types rares).	317
VII.4.2.4 - Les types qui n'entrent pas dans les agencements verticaux décrits jusqu'alors...	320
CONCLUSION.	322
CHAPITRE VIII	324
SEGMENTS DE PAYSAGES ET INTERPRETATIONS HYDRODYNAMIQUES	324
INTRODUCTION	324
VIII.1 - DEMARCHE ET PRINCIPES GENERAUX.	325
VIII.1.1 - Notes sur la segmentation du paysage et les méthodes de spatialisations.	325
VIII.1.2 - Les paysages et l'eau : considérations théoriques sur l'hydrodynamique des géons et des segments de paysages.	327
VIII.2 - TOPOSEQUENCES, GEONS ET SEGMENTS DE PAYSAGES A KAMECH.	331
VIII.2.1 - Les séquences paysagères de la rive droite.	332

VIII.2.2 - Les séquences paysagères de la rive gauche.	340
VIII.2.3 - Les interprétations hydrodynamiques.	350
VIII.3 - LA CARTOGRAPHIE DES SEGMENTS DE PAYSAGES.	354
CONCLUSION	360
CONCLUSION DE LA TROISIEME PARTIE	361
CONCLUSION GENERALE	362
BIBLIOGRAPHIE	365
TABLE DES FIGURES	371
TABLE DES TABLEAUX	378
TABLE DES MATIERES	382
ANNEXES	388
RESUME / SUMMARY	395

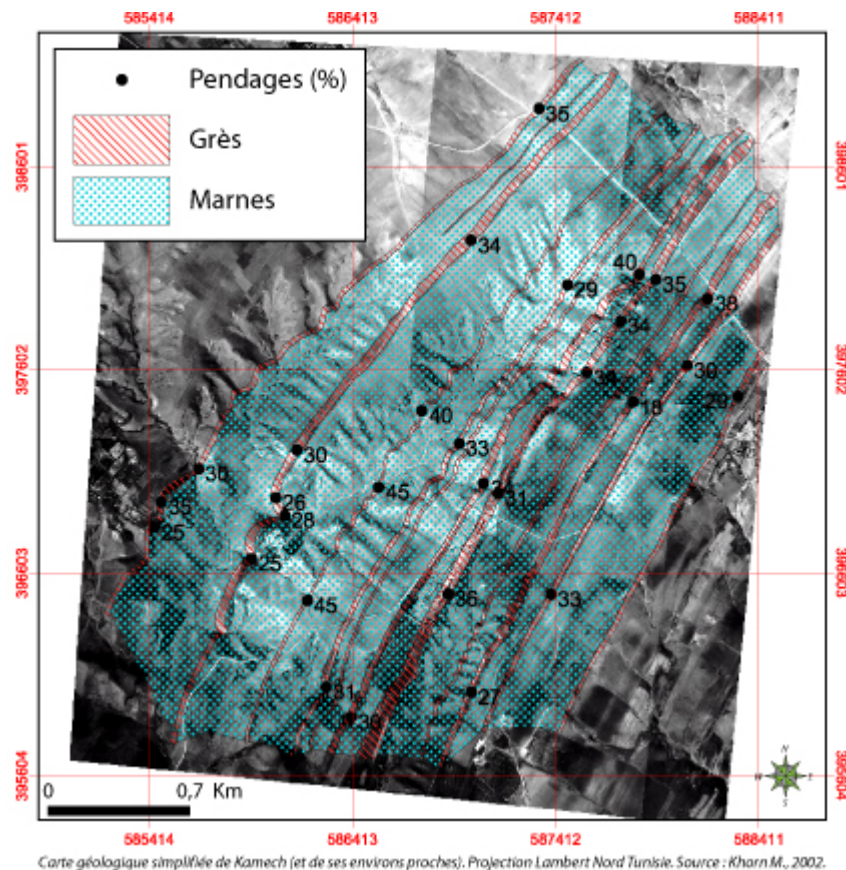
Annexe 1 : Petit atlas du bassin-versant de Kamech.

1 - Topographie : altitudes et pentes.

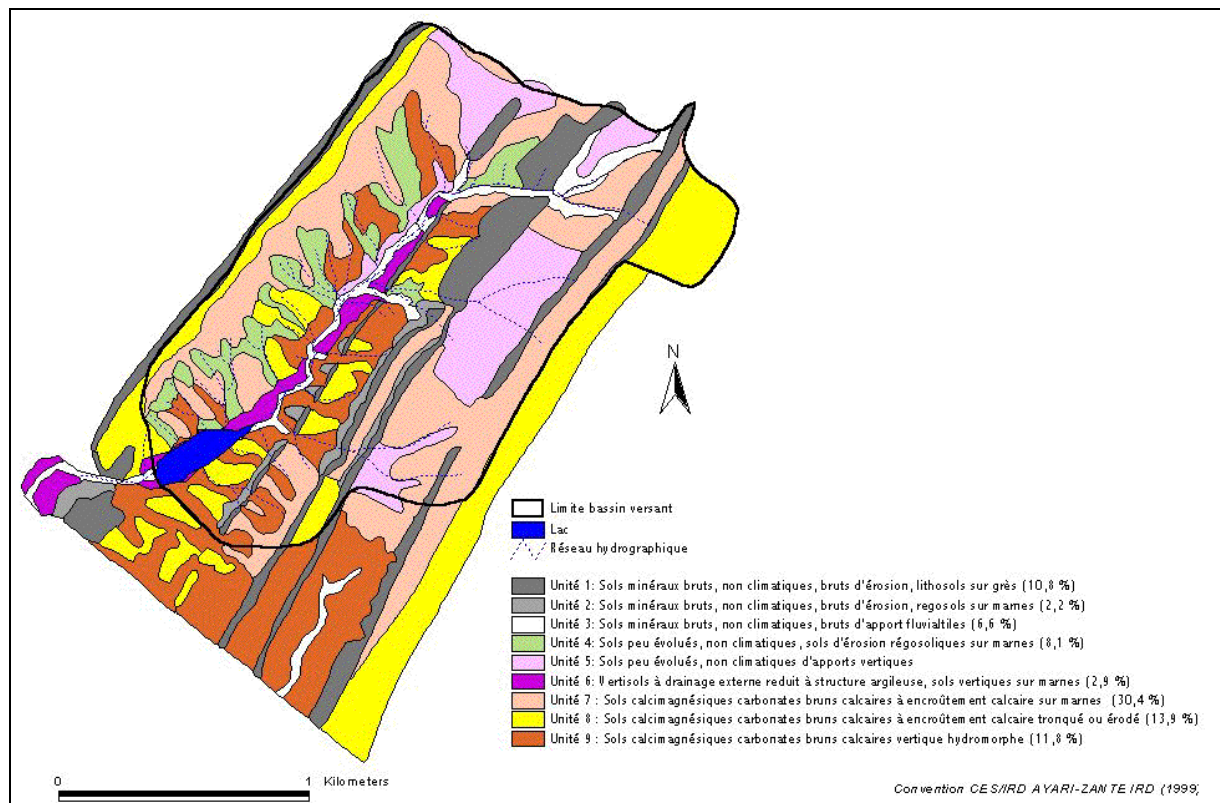


(Modèle Numérique de Terrain, SIG Kamech, Quadrillage UTM zone 32 Nord, Jean Morschel, 2004)

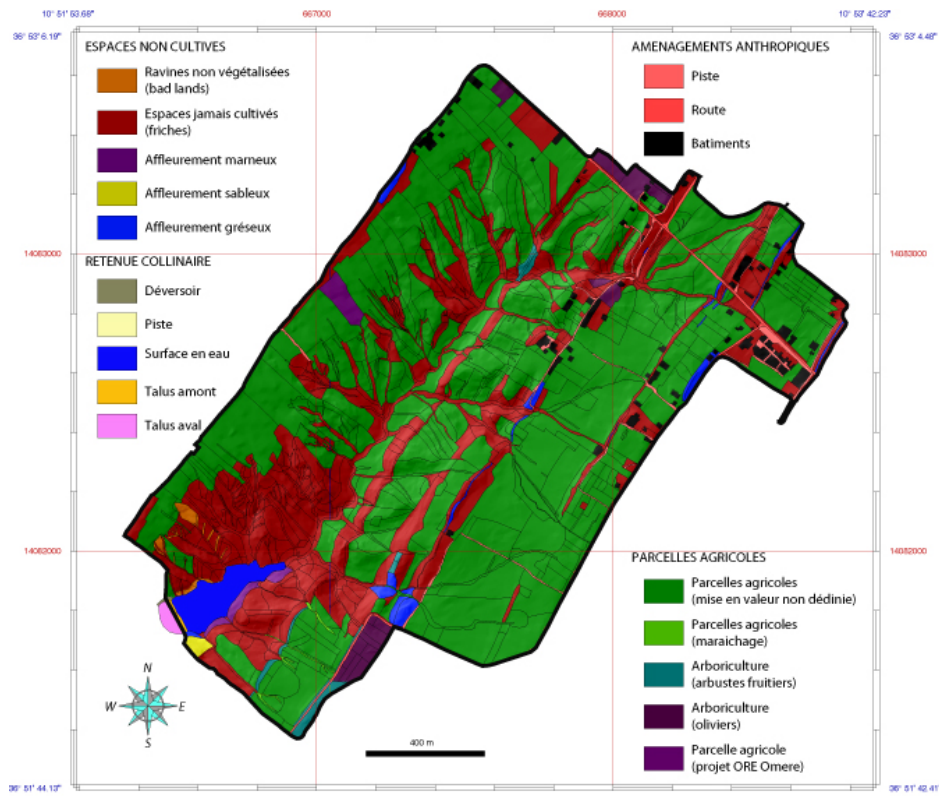
2 – Géologie simplifiée.



3 – Pédologie.



4 – Occupation du sol.



(Cartographie de l'occupation du sol par unités paysagères, d'après les travaux de terrain réalisés par Khébour F., Labiadh M., Morschel J. & Temple E., Avril-Juin 2003, SIG Kamech, UTM zone 32 Nord, Morschel, 2005)

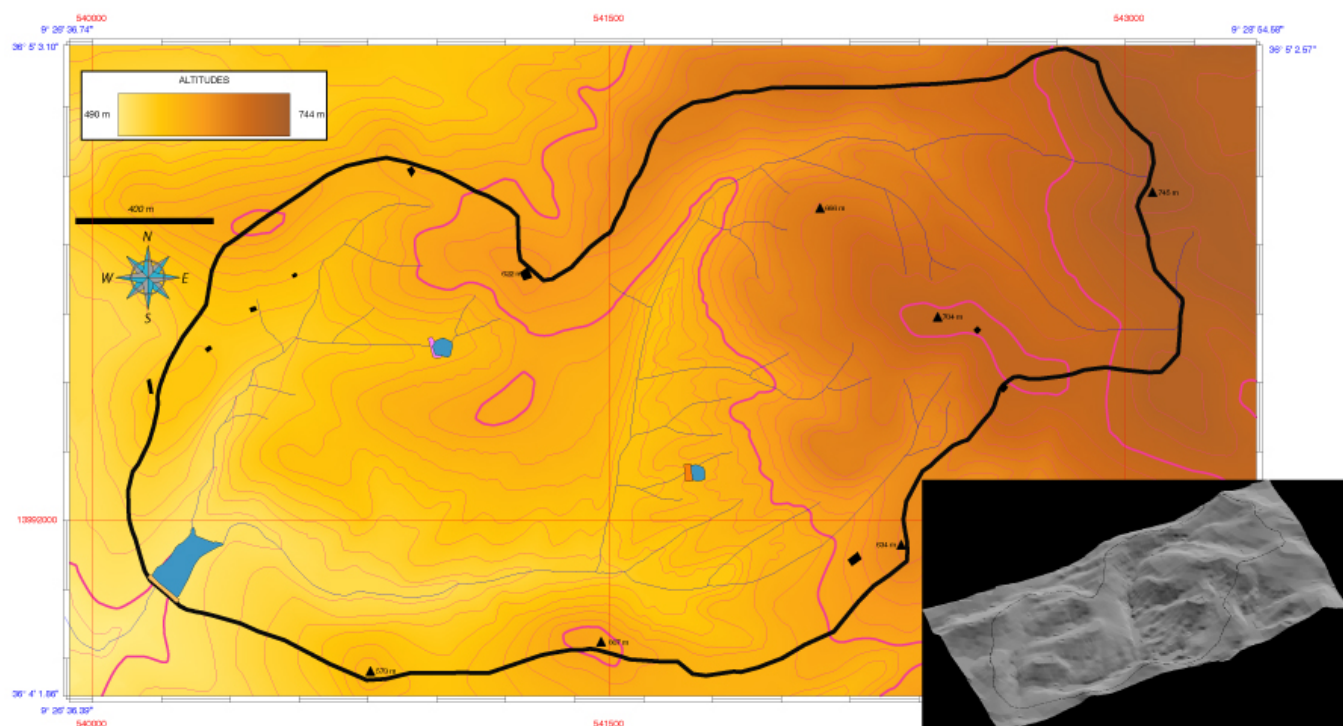
5 – Kamech... vu du ciel.



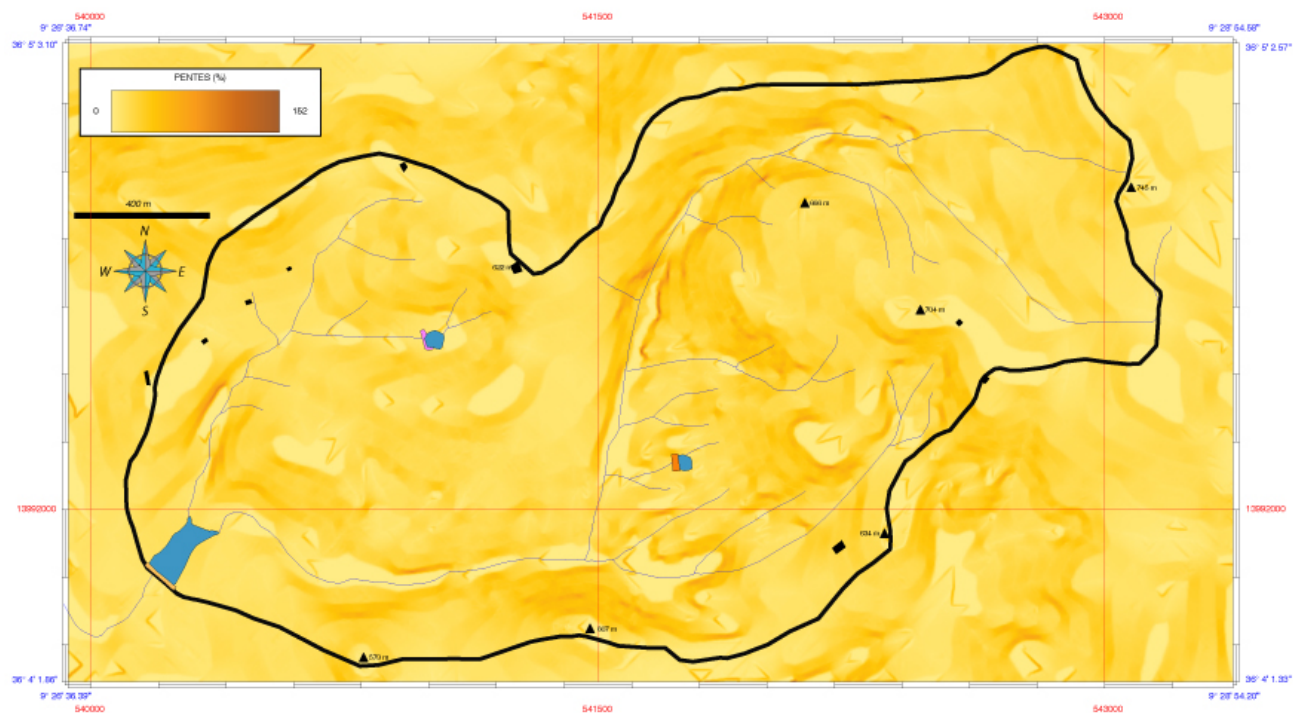
(Image Ikonos – 1 m de résolution,, SIG Kamech, Quadrillage UTM zone 32 Nord, Jean Morschel, 2004).

Annexe 2 : Petit atlas du bassin-versant d'El Hnach.

1 – Altitudes et pentes.

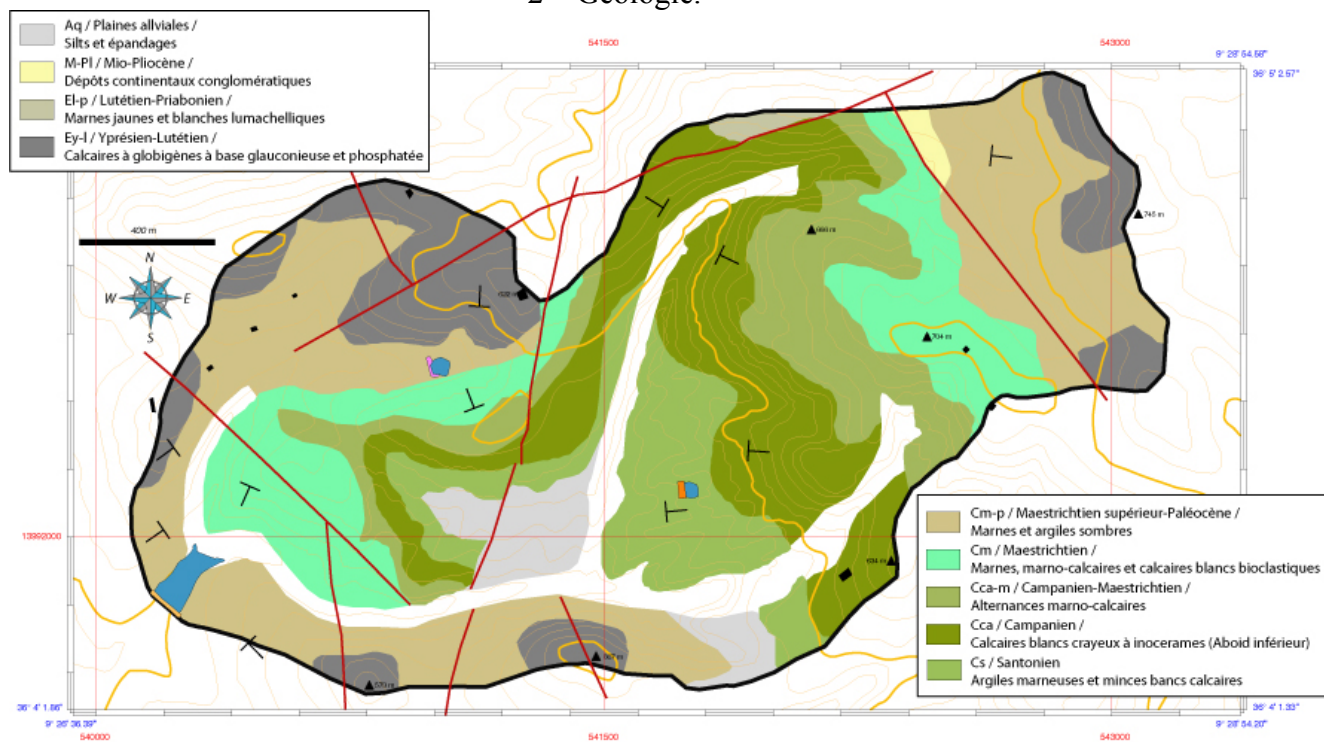


Source : Modèle Numérique de Terrain (altitudes), SIG El Hnach, D'après les travaux de Rebaï H., 2004. Mise en forme et corrections : Jean Morschel, 2005.



Source : Modèle Numérique de Terrain (pentes), SIG El Hnach, D'après les travaux de Rebaï H., 2004. Mise en forme et corrections : Jean Morschel, 2005.

2 – Géologie.



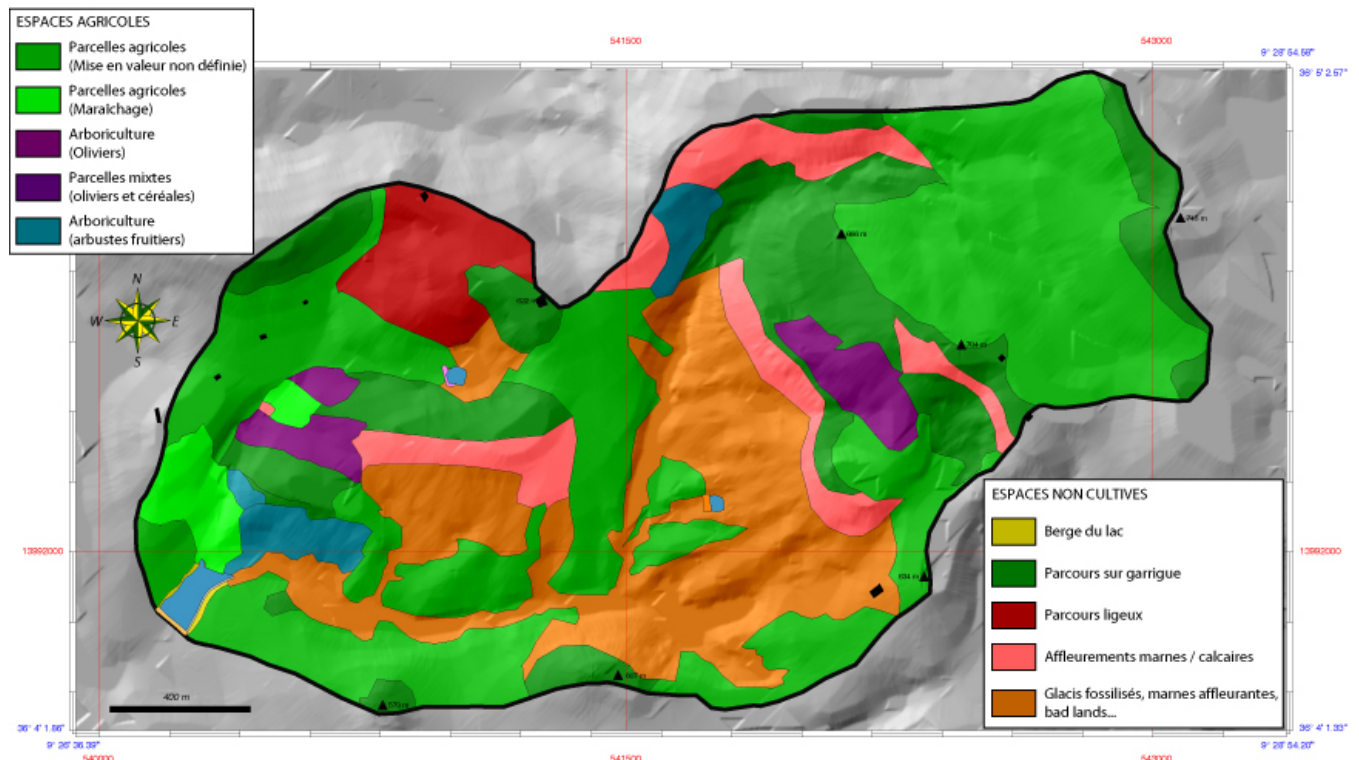
Source : Carte géologique de la Tunisie feuille XXX, SIG El Hnach, D'après les travaux de Rebaï H., 2004. Mise en forme et corrections : Jean Morschel, 2005.

3 – Pédologie.



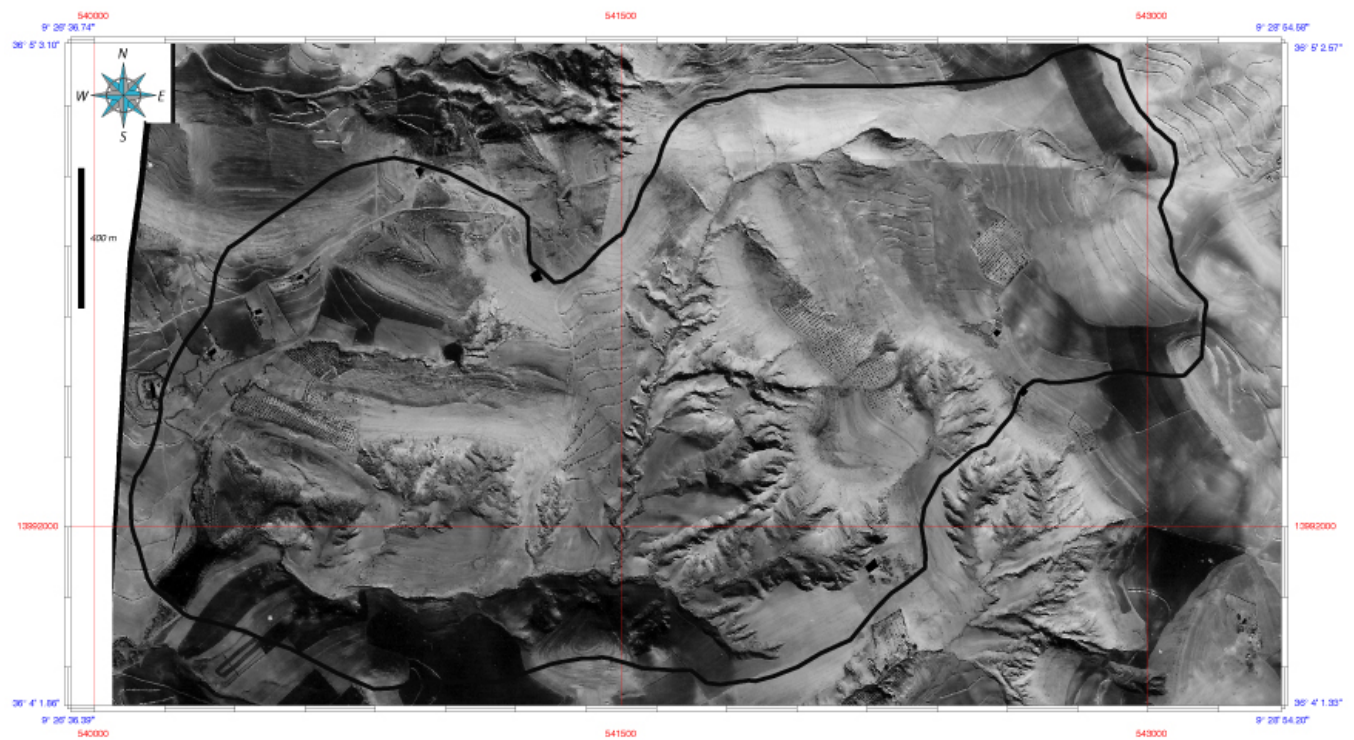
Source : Carte pédologique du bassin-versant d'El Hnach, SIG El Hnach, D'après les travaux de terrain réalisés en 2001 par Patrick Zante. Numérisation : Rebaï H., 2004. Mise en forme et corrections : Jean Morschel, 2005.

4 – Occupation du sol.



Source : Occupation du sol sur le bassin-versant d'El Hnach, SIG El Hnach, réalisé d'après les travaux de terrain de Houda Rebaï (2004). Mise en forme et corrections, Jean Morschel, 2005.

5 – El Hnach... vu du ciel.



Source : Photographie aérienne (2000) redressée et géoréférencée, SIG El Hnach, d'après les travaux de Rebaï H., 2004. Mise en page, Jean Morschel, 2005.

RESUME

Il existe de nos jours de nombreux modèles hydrologiques capables de prévoir, avec plus ou moins de précision et de fiabilité, les crues à l'exutoire d'un bassin versant. Un constat s'impose cependant : peu de ces modèles aident véritablement à comprendre le fonctionnement du milieu naturel sur lequel il sont appliqués. Pourtant comprendre l'organisation spatiale du milieu naturel est d'une grande importance puisque son agencement vertical puis latéral impose les mécanismes qui dirigent ses flux, hydriques et érosifs notamment. Il semble donc intéressant de modifier l'approche actuelle, essentiellement axée sur la prévision du phénomène, en apportant des éléments d'explication relatifs à l'organisation de l'espace et à la genèse des flux engendrés.

Cette recherche propose de montrer comment cette explication de l'organisation du milieu naturel et des flux qui y transitent peut-être réalisée. Son but est de définir, pour trois petits bassins versants de la Dorsale Tunisienne, des unités spatiales nommées "segments de paysages" qui autorisent un découpage de l'espace en tenant compte de l'ensemble de ses caractéristiques : depuis les formes du relief jusqu'à l'agencement des différents éléments minéraux et organiques qui composent le milieu. Basées sur un important travail de terrain et de nombreux traitements statistiques dont l'objectif est d'appréhender les types d'organisations présents dans le milieu naturel, ces unités sont établies le long de transects représentatifs puis sont extrapolées à l'ensemble du paysage. La carte des segments de paysages qui en résulte prend alors la forme d'un véritable modèle spatial qui met en évidence des entités propres à chaque paysage, représentatives de leur organisation spatiale et à partir desquelles il est possible de déduire le cheminement des flux d'eau et de matière. Elle représente ainsi un apport de connaissance intéressant pour la gestion de la ressource en eau en région aride. A l'heure actuelle, seul un des trois paysages pris en compte dans les analyses n'a pu faire l'objet d'une telle cartographie.

SUMMARY

Several hydrological models are currently in use for predicting floods at the catchment outlet. These vary from lumped rainfall-runoff models which ignore flow processes in the catchment to distributed process-based models which attempt to quantify lateral and vertical fluxes. Few of these models integrate extensive field work and most are based almost entirely on readily available digital data. However, flow processes are strongly affected by linear features (paths, roads, hedges...) which are not easily detectable on most digital supports and by factors such as surface roughness or soil depth for which there is often no real data. In the approach described in this thesis, the catchment was subdivided into landscape units based on field mapping. These units represent more or less homogeneous morpho-dynamic units that govern vertical and lateral fluxes of water and soil. The thesis describes the method used for creating the units and landscape segments which will be used for quantifying both runoff and soil erosion.